Эврика

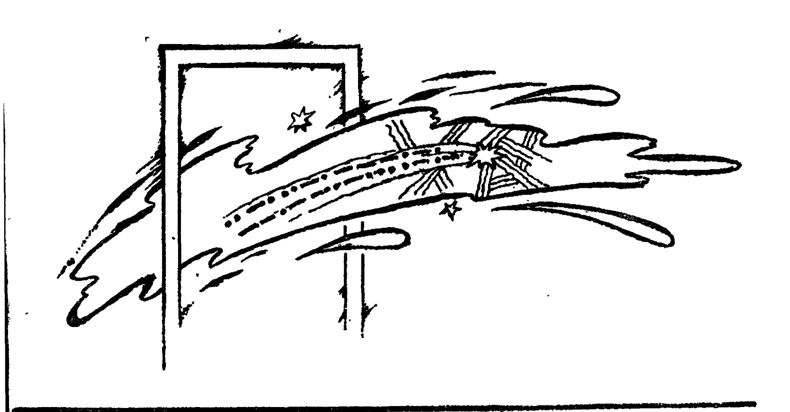
А. ШИЛЕЙКО, Т. ШИЛЕЙКО

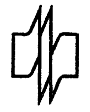
БЕСЕДЫ ОБ ИНФОРМАТИКЕ



А. ШИЛЕЙКО, Т. ШИЛЕЙКО

БЕСЕДЫ ОБ ИНФОРМАТИКЕ



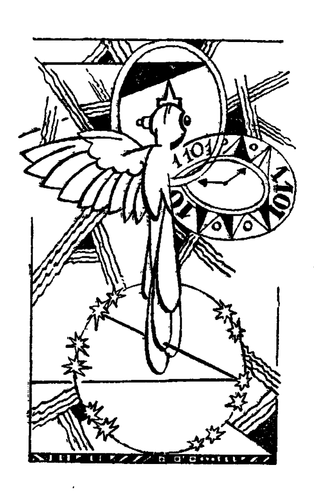


МОСКВА. «МОЛОДАЯ ГВАРДИЯ». 1989

ББК 73
Ш 57

Ш $\frac{1404000000-019}{078(02)-89}$ 254—89

ISBN 5-235-00496-5



Беседа первая

КИБЕРНЕТИКА

КАК УПРАВЛЯТЬ

В 1970 году на русском языке под нашей редакцией вышел перевод книги «Справочник по системотехнике». Вскоре вслед за этим издатель книги, профессор Массачусетского технологического института, президент фирмы «Макол системз» Р. Макол прибыл в Советский Союз. Работа над книгой дала нам право познакомиться с Р. Маколом и пригласить его сделать доклад о современных проблемах кибернетики в Московском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Доклад привлек большое внимание и возбудил множество вопросов. Один из вопросов звучал так:

— Теория автоматического управления, которой вы пользуетесь в ваших работах, чрезвычайно сложна и недоступна простым инженерам. В то же время мы знаем множество простых и хорошо работающих управляющих систем. Так нужна ли столь сложная теория?

Ответ не заставил себя ждать.

— Представьте себе, — сказал Макол, — что вы пилотируете самолет в облаках, в условиях, как говорят,

нулевой видимости и что в некоторый момент у вас отказали все приборы. Сможете вы в таких условиях избежать аварии и посадить самолет?

Если летчик очень опытный, то посадить самолет он, наверное, все-таки сможет. Весь вопрос в том, чем он будет при этом руководствоваться. Как известно, равномерное прямолинейное движение неотличимо от состояния покоя. Поэтому ускорения, а точнее, те усилия, которые воспринимает пилот в ответ на ускорения, — это единственное, что может что-то говорить ему об изменениях положения самолета.

На основании подобных сигналов пилот может составить себе представление об истинной траектории самолета и, должным образом корректируя ее, вывести самолет на посадку. Но пилот сидит в пилотском кресле, поэтому и воспринимать ускорения он способен собственным телом. Поэтому такой способ управления самолетом называют управлением... вслепую.

Надеемся, что подобный ответ убедит и вас, дорогие читатели, в важности разработки эффективных научно обоснованных методов управления. Созданием таких методов занимается наука кибернетика, а ее общепризнанным творцом является американский ученый Н. Винер (1894—1964).

НОРБЕРТ ВИНЕР

Летом 1960 года в Москве состоялся I Международный конгресс Международной федерации по автоматическому управлению (ИФАК). На конгрессе собралось около тысячи ученых из разных стран мира. Приехал и Н. Винер, который тогда находился в зените своей славы, правда все же носившей несколько скандальный оттенок. Почти все время, свободное от запланированных мероприятий, этот полный, среднего роста человек с небольшой седой бородкой проводил в холле гостиницы «Украина», где он чаще всего стоял, опершись животом на одну из мраморных полуколонн. Официально считалось, что профессор изучает нравы. С ним можно было заговорить, что один из авторов, будучи ранее представленным Н. Винеру как официальный сотрудник

конгресса, не замедлил сделать. Винер охотно и живо вступал в беседу.

Если беседа касалась более или менее серьезных вещей, то следовало подняться наверх, в номер, где пребывала его супруга, которая брала руководство беседой в свои руки. Так случилось, в частности, с интервью для «Литературной газеты», которое взяли у Н. Винера два совсем молоденьких переводчика конгресса, — один из них стал впоследствии известным журналистом.

Да, с Н. Винером можно было поговорить. К сожалению, разговоры о кибернетике вообще уже в достаточной мере приелись ученому. Творец кибернетики тогда увлекался альфа-ритмами головного мозга, о которых он рассказал в своем официальном докладе на конгрессе и к которым обычно переходил в частных беседах. По-видимому, ему хотелось показать, что наличие альфа-ритма и других периодических процессов в мозгу, регистрируемых энцефалограммой, доказывает, что мозг, подобно ЭВМ, работает по отдельным тактам — отсюда аналогия между мозгом и ЭВМ. Составить впечатление о кибернетике, взбудоражившей тогда общественное мнение, из нашей беседы с Н. Винером не удалось.

По этой причине вернемся на десять с лишним лет назад и обратимся к его книге, в которой он формулирует основные символы своей веры. Книга составлена своеобразно. Все, что можно сказать о кибернетике как таковой, то есть о принципиально новом, по мнению ее создателя, научном направлении, говорится во введении. В остальных главах за малыми исключениями приводятся лишь дополнительные аргументы, долженствующие подтвердить то основное, что сказано в самом начале. Итак, книга Н. Винера «Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине». Оригинал датирован 1948 годом.

ДИСКУССИИ В ГАРВАРДЕ

Предоставим слово вначале самому Н. Винеру.

«Эта книга представляет итог более чем десятилетних исследований, предпринятых совместно с д-ром Артуро Розенблютом, работавшим тогда в Гарвардской медицинской школе, а ныне перешедшим в Националь-

ный институт кардиологии в Мексике. В то время (то есть в 1930-х годах. — *А.* и *Т. Ш.*) Розенблют, коллега и сотрудник покойного д-ра Уолтера Б. Кеннона, ежемесячно устраивал дискуссии о научном методе. В этих дискуссиях участвовали главным образом молодые ученые Гарвардской медицинской школы. Мы собирались на обед за круглым столом в Вандербилт-Холле. Беседа была живой и непринужденной. Здесь было неподходящее место для игры в амбицию, да это и не поощрялось. После обеда кто-нибудь из нашей группы или из гостей делал доклад на какую-либо научную тему, причем обычно в этих докладах вопросы методологии ставились на первое или хотя бы на почетное место. На докладчика обрушивалась резкая критика, благожелательная, но беспощадная. Она была великолепным лекарством от незрелых мыслей, недостаточной самокритичности, излишней самоуверенности и напыщенности. Кто не мог выдержать испытание, не возвращался в нашу среду; но многие из нас, бывших завсегдатаев этих встреч, чувствуют, что эти встречи были постоянным существенным вкладом в наше научное развитие.

На этих собраниях присутствовали не только врачи и ученые-медики. К постоянным и активным участникам наших споров принадлежал д-р Мануэль Сандоваль Вальярта, профессор физики Массачусетского технологического института, один из самых первых моих студентов в те годы, когда я пришел в Массачусетский технологический институт после первой мировой войны. Как и д-р Розенблют, д-р Вальярта был мексиканец. Он имел обыкновение приводить на эти встречи своих коллег по институту. На одну из встреч он привел и меня, так я встретился впервые с д-ром Розенблютом. Я давно интересовался методологией науки и в 1911—1913 годах принимал участие в семинаре по этим вопросам, который вел Джосайя Ройс в Гарвардском университете. Чувствовалось, что на подобных собраниях необходимо присутствие человека, способного критически рассматривать математические вопросы. Поэтому я был активным членом группы до того момента, пока д-р Розенблют не был вызван в Мексику в 1944 году и пока общий беспорядок, связанный с войной, не положил конец этим собраниям».

Мы нарочно привели столь длинную цитату, чтобы

показать, что именно дискуссии вокруг вопросов методологии науки привели к появлению нового научного направления. Важен также состав участников: физиологи, физики и один математик.

Читаем дальше.

«...Летом 1940 года я стал уделять много внимания разработке вычислительных машин для решения дифференциальных уравнений в частных производных... В результате были сформулированы следующие требования.

1) Центральные суммирующие и множительные устройства должны быть цифровыми, как в обычном арифмометре, а не основываться на измерении, как в дифференциальном анализаторе Буша.

2) Эти устройства, являющиеся, по существу, переключателями, должны состоять из электронных ламп, а не из зубчатых передач или электромеханических реле. Это необходимо, чтобы обеспечить достаточное быстродействие.

3) В соответствии с принципами, принятыми для ряда существующих машин Белловских телефонных лабораторий, должна использоваться более экономичная двоичная, а не десятичная система счисления.

4) Последовательность действий должна планироваться самой машиной так, чтобы человек не вмешивался в процессе решения задачи с момента введения исходных данных до съема окончательных результатов. Все логические операции, необходимые для этого, должна выполнять сама машина.

5) Машина должна содержать устройство для запасания данных. Это устройство должно быстро их записывать, надежно хранить до стирания, быстро считывать, быстро стирать их и немедленно подготавливаться к запасению нового материала.

Эти рекомендации, вместе с предложениями по их реализации, были направлены д-ру Ванневару Бушу для возможного применения их в случае войны».

Имя профессора В. Буша хорошо известно. Близкий к президенту Рузвельту, он стал, в частности, одним из инициаторов Манхеттенского проекта, в конечном итоге приведшего к созданию атомной бомбы. Что касается пяти принципов Н. Винера, то еще в 1812 году декан кафедры математики Кембриджского университета

Ч. Бэббидж для составления логарифмических таблиц решил использовать механические счетчики. Числа в машину у него должны были вводиться с помощью перфокарт. Если перфокарты управляют работой ткацкого станка, автоматически сплетающего сложные узоры, то почему бы с помощью тех же перфокарт не управлять работой счетной машины?

Аналитическая машина, по замыслу Ч. Бэббиджа, должна была уметь, во-первых, выполнять простые арифметические действия, во-вторых, запоминать начальные и промежуточные данные, а также результаты вычислений, в-третьих, запоминать группу инструкций или команд, по которым идет решение задачи, в-четвертых, выдавать результаты вычислений, в-пятых, выполнив задание, автоматически прекращать вычисления и, наконец, в-шестых, если что-то выполнить не удалось, повторить цикл вычислений.

С помощью аналитической машины Ч. Бэббидж надеялся уточнить старые и составить новые математические и морские таблицы, выверить таблицы логарифмов, проверить данные астрономических наблюдений, вычислить среднюю продолжительность жизни человека в Англии. Дочь поэта Байрона, леди Лавлейс, от природы наделенная выдающимися математическими способностями, стала ученицей Ч. Бэббиджа и написала несколько программ для его аналитической машины. Она доказала, что эта машина способна не только решать задачи числового характера, но и производить операции над словами.

СУДЬИ! КТО ПЕРВЫЙ?

Вы, конечно, заметили, что по меньшей мере четыре из пяти требований Н. Винера к вычислительной технике были известны много более чем за сто лет до того, как он их сформулировал. Оставим в стороне замену реле электронными лампами, которых, естественно, не существовало во времена Ч. Бэббиджа. Но вопрос о приоритете весьма спорный. В 1973 году в США происходил даже судебный процесс, и рассмотренное в процессе дело занимало ни много ни мало, а 1250 страниц. Суд пришел к выводу, что еще в 1939 году в колледже

штата Айова под руководством выходца из Болгарии Атанасова была разработана и построена в виде лабораторного макета ЭВМ на электронных лампах. В Германии в 1937—1942 годах инженер К. Цузе также разработал проект ЭВМ, не реализованный из-за отсутствия ассигнований.

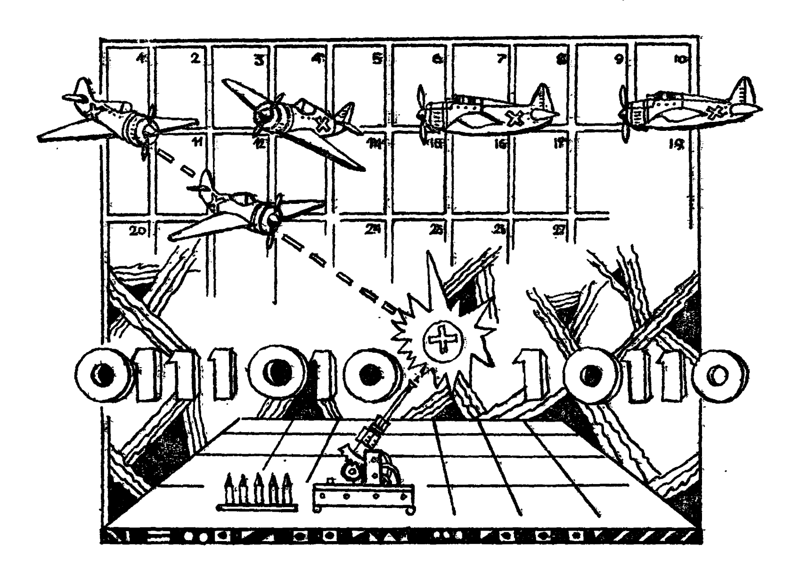
Справедливости ради следует указать, что сам Н. Винер пишет по поводу приоритета: «Эти мысли почти носились тогда в воздухе, и я не хочу в данный момент заявлять какие-либо претензии на исключительный приоритет в их формулировке». Важнее всего то, что Н. Винер проявил интерес к вычислительным машинам именно в связи со своими работами в области кибернетики.

Читатель, верно, давно недоумевает, с чего бы это вдруг мы занялись пересказом книги, хотя и здорово нашумевшей в свое время, но вышедшей в свет сорок лет тому назад, а события, которые мы так подробно освещаем, происходили лет на десять раньше?

Секрет прост. Информатика, беседам о которой посвящена наша книга, в известном смысле родилась из кибернетики (правда, и противоположное утверждение имеет некоторое право на существование). Естественно, нам хочется разобраться в том, что такое кибернетика, а заодно постараться понять, что такое информатика.

СТРЕЛЬБА ПО ДВИЖУЩЕЙСЯ ЦЕЛИ

Просим у читателя еще немножко терпения. «Итак, эта работа была отложена (имеется в виду изучение нервной системы. — *А.* и *Т. Ш.*). Хотя она и принесла некоторую пользу, но она непосредственно не привела д-ра Розенблюта и меня к каким-либо проектам. Наше действительное сотрудничество возникло в связи с другой задачей, также имевшей непосредственное отношение к последней войне. В начале войны господство Германии в воздухе и оборонительная позиция Англии сконцентрировали внимание многих ученых на задаче усовершенствования зенитной артиллерии. Уже до войны стало ясно, что возрастающая скорость самолетов опрокинула классические методы управления огнем и что необходимо встроить в прибор управления огнем все вычислительные устройства, обеспечивающие расче-



ты для выстрела. Эти вычислительные устройства оказались очень сложными вследствие того обстоятельства, что в отличие от других целей самолет имеет скорость, сравнимую со скоростью зенитного снаряда. Поэтому необходимо стрелять не прямо в цель, а в некоторую точку, в которой согласно расчетам должны по прошествии некоторого времени встретиться самолет и снаряд. Следовательно, мы должны найти какой-нибудь метод предсказания будущего положения самолета.

Простейший метод — продолжить наблюдаемый курс самолета по прямой. Этот метод заслуживает серьезного внимания. Чем больше самолет кружит при полете, чем больше он делает виражей, тем меньше его эффективная скорость, тем меньше времени он имеет для выполнения боевого задания, тем дольше он остается в поражаемом пространстве. При прочих равных условиях самолет будет по возможности лететь по прямой. Однако после разрыва первого снаряда обстановка существенно изменяется, и пилот, вероятно, начнет выполнение зигзагообразного полета, фигуры высшего пилотажа или другого противозенитного маневра.

Если бы этот маневр зависел только от пилота и задача пилота сводилась бы к разумному использова-

нию своих шансов, такому, какое, мы, например, ожидаем от хорошего игрока в покер, то к моменту разрыва снаряда пилот мог бы настолько изменить положение самолета, что шансы на удачное попадание стали бы пренебрежимо малы, если только не применять весьма неэкономного заградительного огня. Но пилот не имеет возможности неограниченного маневра. Во-первых, пилот находится в самолете, летящем с чрезвычайно большой скоростью, и всякое внезапное отклонение от курса создаст огромную нагрузку, при которой пилот может потерять сознание, а самолет — развалиться. Далее, управлять самолетом можно только посредством движения рулевых поверхностей, и для перехода в новый режим полета потребуется некоторое время».

Наконец мы коснулись, как говорится, горячей точки. К концу 30-х годов военно-воздушные силы фашистской Германии обладали подавляющим преимуществом среди всех стран Западной Европы. Большую роль в создании такого положения сыграло преступное попустительство правительств некоторых западноевропейских стран. Растущий в 30-е годы авторитет левых прогрессивных сил (вспомним правительство Народного фронта во Франции или республиканское правительство в Испании) для них казался гораздо страшнее увеличивающейся мощи фашизма. В особенно тяжелом положении оказалась Англия. Из-за островного расположения она представляла собой идеальную мишень для бомбардировщиков. Ясно, что о коренной перестройке авиационной промышленности в течение нескольких месяцев не могло быть и речи (несколькими годами позже такое оказалось под силу только нашей стране). Поэтому буквально вопросом жизни и смерти стало совершенствование противосамолетного зенитного орудия.

Задачу эту решали в нескольких странах мира, в том числе и в нашей, тысячи, а может быть, десятки тысяч инженеров и ученых. В задаче не было ничего нового: вычислительные приспособления для наводки орудий, в первую очередь морских, создавались еще до первой мировой войны, причем серьезный вклад в ее решение внес академик А. Н. Крылов, одним из первых применивший методы моделирования, а также математические методы вариационного исчисления, о которых впоследствии будет говорить в своей книге Н. Винер.

О ПОЛЬЗЕ ГАДАНЬЯ

К середине 30-х годов, и здесь Н. Винер совершенно прав, положение коренным образом изменилось. Скорость самолетов (целей) стала соизмеримой со скоростью снаряда. Поэтому стрелять надо было не в самолет, а в некоторую точку, принимаемую за точку встречи самолета и снаряда. Определять точку встречи приходилось в условиях, когда цель совершает случайный, не поддающийся точному предсказанию противозенитный маневр.

Мы согласны с автором «Кибернетики», что для решения задачи нужен был теоретический аппарат, который одновременно и в равной степени учитывал бы свойства трех объектов: зенитного снаряда, рассматриваемого вместе с выпустившим его зенитным орудием, самолета со всеми его динамическими характеристиками и летчика, совершающего маневр. Именно единый теоретический аппарат! В противном случае, если самолет описывать исходя из одних принципов, а пилота — из других, такие две теории было бы трудно, а проще сказать, невозможно совместить для получения желаемого эффекта.

На первых порах математическим аппаратом стала теория временных рядов. Теория временных рядов имеет большую историю, восходящую к XVIII веку, но заслуги Н. Винера в совершенствовании и развитии ее несомненны. Каждый студент технического вуза знает, что такое винеровский фильтр. Работы подобного рода, а они проводились не только в связи со стрельбой по самолетам, показали, что действия человека с достаточно высокой точностью описываются практически теми же уравнениями, которыми описываются части зенитной системы или рулевой машинки корабля, которую Н. Винер упоминает во введении к своей «Кибернетике».

Правда, пилот самолета связан жесткими ограничениями, и далеко не всякое принятое им решение может быть реализовано. Забегая вперед, скажем, что, к примеру, при игре в орлянку ЭВМ наверняка обыгрывает человека. Что же получается? Ведь теоретически доказано, что если монетка правильная, то в орлянку выигрывает тот, кто отгадывает будущее положение мо-

нетки совершенно случайным образом, то есть проявляет максимум свободной воли.

Следовательно, действия самолета, совершающего противозенитный маневр, являются результатом управления и связи и в животном и в машине. Они описываются теорией, в равной степени справедливой для животного (пилота) и для машины. Стоит оговориться, что если тысячи (возможно, десятки тысяч) инженеров и ученых решали задачу прицельной стрельбы по самолету, то не меньшее их количество и в то же самое время решали задачу, как наилучшим образом совершить противозенитный маневр, чтобы с наибольшей вероятностью избежать поражения зенитным снарядом. Не исключено, что где-то группы, решающие эти две задачи, сидели даже в одной комнате.

БИТВА В АТЛАНТИКЕ

С развитием второй мировой войны количество задач, связанных с прицельной стрельбой, множилось. В Атлантическом океане развернулось беспрецедентное по своим масштабам и длительности сражение между фашистскими подводными лодками и конвоями кораблей, перевозивших грузы из Америки в Европу. Возникшие задачи привели к появлению научного направления — теории исследования операций, которое затем автоматически причислили к кибернетике. После войны развитые методы теории исследования операций успешно применялись в промышленности и капиталистических, и социалистических стран.

Мы подошли к главному вопросу этой беседы. Должен ли был бесконечно удивлять тот факт, что процессы управления и связи едины в животном и в машине, хотя бы в том смысле, что они могут быть описаны одними и теми же математическими уравнениями.

Первые опыты по созданию машин, претендующих на выполнение некоторых действий, свойственных человеческому разуму, связывают с именем Р. Луллия (1235—1315). Общеизвестны счетные машины, созданные Б. Паскалем. Г.-В. Лейбниц усовершенствовал арифмометры Б. Паскаля и был захвачен мечтой создать универсальную математику, которая смогла бы заняться всем, что

поддается точному определению. Главный раздел универсальной математики — комбинаторика, искусство оперирования формулами. Лейбниц полагал в свое время, что искусство комбинаторики позволит достичь в философии того же, чего добились Декарт и другие математики с помощью алгебры и анализа в арифметике и геометрии, и написал буквально: «Тем самым указан путь, на котором все существующие понятия могут быть разложены на небольшое число простых понятий, являющихся как бы их алфавитом, и посредством правильного метода из комбинаций букв такого алфавита могут быть со временем вновь получены все вещи вместе с их теоретическими доказательствами. Это открытие, если только бог судил мне его закончить, было бы матерью всех моих открытий».

Начиная с работы «Об искусстве комбинаторики», появившейся в 1666 году, когда ему не было и двадцати лет (в ней развиваются идеи Луллия применительно к науке того времени), Лейбниц всю жизнь пытался найти «язык мысли» и воплотить мечты об искусстве комбинаторики в жизнь.

ЯЗЫК МЫСЛИ

В IV веке до нашей эры Аристотель установил, что человек мыслит, сообразуясь с определенными законами. При отклонении от этих законов получается бессмыслица — в полном смысле этого слова. О некотором предмете нельзя сказать, что он одновременно и обладает и не обладает некоторым свойством — закон исключенного третьего. Аристотелева логика в почти неизмененном виде дошла до середины XIX века. В университетах изучали Аристотелевы силлогизмы типа: все люди смертны, Кай человек, значит, он смертен.

В 1847 году в Лондоне вышла книга под названием «Математический анализ логики». Автор ее — талантливый ирландский математик Дж. Буль (1815—1864). Буль создал алгебру логики, в которой Аристотелевы силлогизмы приобрели вид алгебраических формул. Кстати, от Дж. Буля мы получили в наследство исключительно неудачную терминологию, следуя которой электрические схемы, состоящие из транзисторов и дру-

гих радиодеталей и не имеющие ни малейшего отношения к логике, науке о человеческом мышлении, мы называем логическими.

Суть не в терминологии. Вслед за созданием алгебры логики начинаются попытки логического обоснования математики. В начале нашего века выходит труд Б. Рассела и А. Уайтхеда «Начала математики». Строгой логической проверке подвергаются главные понятия арифметики, геометрии, математического анализа и теории вероятностей. Впервые обнаружились парадоксы, показывающие, что фундамент математики не так монолитен, как представлялось ранее.

В 1937 году американский инженер Г. Айкен реализовал основные идеи Ч. Бэббиджа. Г. Айкен имел в своем распоряжении не громоздкие механические детали, а миниатюрные электромагнитные реле. На их основе в 1944 году была построена цифровая вычислительная машина «Марк-I» и вскоре вслед за ней «Марк-II». Обе машины содержали примерно по 13 тысяч реле. Числа длиной 23 двоичных разряда складывались и вычитались со скоростью 0,3 секунды, умножались за 6 секунд и делились за 11,4 секунды. Удалось автоматизировать одну из важных функций человеческого мышления, причем так, что счет выполнялся быстрее, чем это мог бы сделать весьма квалифицированный математик.

В ИНСТИТУТЕ И ЗА ЧАЙНЫМ СТОЛОМ

Мы не хотим излагать историю вычислительной техники. Просто так уж получается, что, с каких бы позиций мы ни начали говорить об автоматах или управлении, все равно рано или поздно приходишь к информации и ее переработке, а следовательно, к вычислительной технике. И так было, по всей вероятности, задолго до выхода в свет книги Н. Винера «Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине».

Н. Винеру повезло в том смысле, что, во-первых, он сформулировал свои требования к электронной вычислительной машине тогда, когда потребность в таких машинах ощущалась особенно остро, а во-вторых, поскольку прототипы подобных машин уже существовали, имелась

полная возможность судить о том, насколько эти требования реалистичны.

Стоит упомянуть о мечте Н. Винера и А. Розенблюта создать общество независимых ученых, работающих вместе не под началом какого-нибудь высокопоставленного чиновника, а объединенных желанием понимать науку как нечто цельное и передавать друг другу такое понимание. Если говорить о науке управления, то подобная мечта осуществилась еще до второй мировой войны, но не в США, а у нас в СССР.

В 1939 году при Академии наук СССР была создана комиссия, именно комиссия, в известном смысле свободное содружество, по вопросам автоматического управления. В 1940 году комиссию преобразовали в Институт автоматики и телемеханики Академии наук СССР. Не правда ли, автоматика и телемеханика — всего лишь другие слова, обозначающие те же понятия управления и связи? Не добавили только «в животном и машине», но в этом не было нужды, поскольку вопрос был ясен с самого начала. Первым директором Института автоматики и телемеханики назначили академика В. Кулебакина (1891—1970), специалиста по самолетостроению и автоматическому управлению (судите сами, случайно ли такое совпадение).

Разговоры о чудесах автоматики велись не только в институтах, но и дома за чайным столом. В этой связи вспоминаются встречи с академиком Н. Лузиным, также работавшим в Институте автоматики и телемеханики АН СССР. Н. Лузин был чистым математиком, и все же одна из основных его работ того времени «К изучению матричной теории дифференциальных уравнений» была напечатана в журнале «Автоматика и телемеханика» № 5 за 1940 год.

Н. Лузин был прекрасным рассказчиком, причем эти его черты особенно ярко проявлялись именно за чайным столом. Он не грешил против истины, но свои рассказы о будущем вычислительной техники ухитрялся облекать в такую форму, что, как говорится, мороз подирал по коже.

Примерно в середине 30-х годов советский физик В. Шестаков, американский математик и инженер К. Шеннон и японский инженер А. Никасима обратили внимание на то, что некоторые структуры электрических

схем, состоящих из реле, сильно напоминают структуры, изучаемые в математической логике. Практически одновременно с исследованиями В. Шестакова и К. Шеннона были опубликованы также статьи советского инженера В. Розенберга и австрийской исследовательницы И. Пиш (изложившей результаты, полученные ее научным руководителем О. Плехелем).

В аналогии между электрическими схемами, состоящими из реле, и структурами, изучаемыми в математической логике, советский ученый, в будущем глава школы математических логиков М. Гаврилов увидел средство создать математический аппарат для формального синтеза схем, состоящих из реле.

Рождение оригинального взгляда на хорошо известные к тому времени по автоматическим телефонным станциям релейно-контактные схемы проходило не гладко. М. Гаврилова обвиняли во многих грехах. Защита его докторской диссертации напоминала сражение. Сражение это закончилось победой нового — диссертацию утвердили в 1947 году.

Следует ли усматривать в истории с диссертацией М. Гаврилова недоверчивое отношение к кибернетике? Во-первых, слово «кибернетика» тогда не было принято. Во-вторых, все новое пробивает себе путь с трудом. Так, по-видимому, и должно быть. В противном случае слишком легко рождались бы истины-однодневки, которые хотя и развенчиваются за короткое время, но успевают наделать много вреда. Наконец, в любой критике, сколько бы тенденциозной она ни была, всегда содержится крупица истины. Например, если бы М. Гаврилов предложил свой математический аппарат для синтеза релейно-контактных схем, не упоминая при этом логику, он наверняка избавил бы многих от лишних бесплодных размышлений, а подчас и заблуждений.

ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ

Закономерности передачи информации и управления в живых организмах восходят к условным и безусловным рефлексам, которые глубоко и всесторонне исследовал академик И. Павлов (1849—1936). Работы эти продолжили его ученики. В 1935 году физиолог П. Ано-

хин ввел понятие обратной афферентации, по содержанию близкое к одному из основополагающих в кибернетике.

В очередной раз в этой беседе дадим слово Н. Винеру:

«Таким образом, четыре года назад группа ученых, объединившихся вокруг д-ра Розенблюта и меня, уже понимала принципиальное единство ряда задач, в центре которых находились вопросы связи, управления и статистической механики, и притом как в машине, так и в живой ткани. Но наша работа затруднялась отсутствием единства в литературе, где эти задачи трактовались, и отсутствием общей терминологии или хотя бы единого названия для данной области. После продолжительного обсуждения мы пришли к выводу, что вся существующая терминология так или иначе слишком однобока и не может способствовать в надлежащей степени развитию этой области. По примеру других ученых нам пришлось придумать хотя бы одно искусственное неогреческое выражение для устранения пробела. Было решено назвать всю теорию управления и связи в машинах и живых организмах кибернетикой, от греческого «χυβερνητιχη», то есть «кормчий». Выбирая этот термин, мы тем самым признавали, что первой значительной работой по механизмам с обратной связью была статья о регуляторах, опубликованная Кларком Максвеллом в 1868 году и что слово «governor», которым Максвелл обозначил регулятор, происходит от латинского искажения слова «χυβερνητιχη». Мы хотели также отметить, что судовые рулевые машины были действительно одними из первых хорошо разработанных устройств с обратной связью».

Основоположником современной теории управления Н. Винер считает Дж. К. Максвелла, и это совершенно справедливо. Что касается слова «кибернетика», то оно довольно часто встречается у Платона, где обозначает искусство управлять кораблем (конечно, с командой на борту) в прямом смысле, а один раз и в переносном смысле как умение управлять людьми. В 1834 году французский физик А. Ампер, занимавшийся классификацией наук, по примеру древних назвал кибернетикой науку об управлении государством.

Однако решительно хватит истории. Что мы хотели показать? К моменту выхода в свет книги Н. Винера основные идеи кибернетики в его понимании этого слова не только полностью сформировались, но во многом нашли свое практическое воплощение, в частности, в военной технике. Как выясняется, даже слово «кибернетика» не оказалось неологизмом.

В чем же заслуга Н. Винера? Может быть, его книга просто представляет собой компиляцию известных сведений, собирает воедино известный, но разрозненный материал?

Интересно, что примерно такое же положение имело место в начале нашего века непосредственно перед тем, как А. Эйнштейн сформулировал основные принципы специальной теории относительности. Было известно и экспериментально доказано отсутствие эфира. Было известно, что скорость любых взаимодействий в природе ограничена и не может превышать скорости света. Наконец, были известны преобразования Лоренца. Тем не менее формулировку специальной теории относительности мы считаем гениальным открытием, определившим все развитие физики. Считаем потому, что, как показал А. Эйнштейн, конечность скорости взаимодействий — это не частное явление, но принципиальный факт, лежащий в основе всей механики, а затем и электродинамики. Вводя понятия о конечности скорости взаимодействия, а следовательно, и необходимости описывать физические системы в терминах преобразования Лоренца, А. Эйнштейн в корне изменил картину мира. Именно в корне, хотя это не сразу стало очевидно и послужило причиной для многих неприятия теории относительности.

Попробуем провести аналогию с кибернетикой. Всевозможные системы управления известны человечеству из глубокой древности. В качестве примеров таких систем чаще всего приводят ловушки для зверей. Особого развития всевозможные автоматы достигли в XVII веке. Демонстрировался даже механический человек, игравший в шахматы.

Теория автоматического регулирования была в основном сформулирована Дж. Максвеллом, И. Вышнеград-



ским (1832—1895), А. Ляпуновым (1875—1918) и А. Стодолой (1859—1942). В начальный период развития теория автоматического регулирования являлась разделом теоретической и технической механики, причем объектом исследований было регулирование хода конкретных видов машин. Идеи теории автоматического регулирования развивались во многом независимо в теплотехнике, электротехнике и радиотехнике. В дальнейшем обнаружилась аналогия процессов регулирования в различных областях техники, и к 40-м годам отдельные направления теории автоматического регулирования объединяются и синтезируются в единую теорию.

Конечно, очень большое впечатление произвело утверждение о том, что процессы управления и связи в живых организмах в основном аналогичны процессам управления в машинах. Но подобный элемент сенсационности царил лишь в среде неспециалистов, большинству из которых казалось просто кощунственным сводить священные процессы, творящиеся в «душе» человека, к каким-то механическим аналогиям. Что же касается серьезных ученых, то, как мы уже говорили, трудами И. Сеченова, И. Павлова, П. Анохина и многих других была однозначно доказана объективность процессов,

объединявшихся под названием высшей нервной деятельности.

В чем же заслуга Н. Винера? Его заслуга в том, что он впервые понял принципиальное значение информации в процессах управления. Говоря об управлении и связи в живых организмах и машинах, он видел главное не просто в словах «управление» и «связь», а в их сочетании. Точно так же, как в теории относительности важен не сам факт конечности скорости взаимодействия, а сочетание этого факта с понятием одновременности событий, протекающих в различных точках пространства.

Управление и связь — в этом сочетании слов центральное и принципиальное значение имеет союз «и». Согласитесь, что на первый взгляд это далеко не очевидно. Возьмем в качестве примера какой-нибудь простейший автомат, например турникет из числа тех, которые установлены на всех станциях метро. Вы опускаете монету и свободно минуете турникет. Если монета не опущена, из стенок турникета выдвигаются два рычага, преграждая вам путь.

Что касается управления, то здесь все ясно. Турникет управляет или, если угодно, регулирует следование потока пассажиров, разделяя его на две части, одна из которых опустила монету, причем монету правильную, а другая этого не сделала. Но где же связь? Связь состоит в том, что, опуская монету, пассажир как бы сообщает автомату о том, что, во-первых, он присутствует и просит разрешения на проход, а во-вторых, что он оплатил свое право на последующие действия.

Все это так. Но любой скептик вправе заметить, что, пожалуй, слишком пышными словами мы описываем такое простое действие, как опускание монеты в щель автомата. Конечно, можно говорить, что монета представляет собой сигнал, этот сигнал передает сообщение от пассажира к автомату (именно в таких терминах описываются процессы передачи сообщения в теории К. Шеннона), автомат воспринимает сообщение, расшифровывает его и в зависимости от содержания или смысла (это так называемый семантический аспект информации) предпринимает те или иные действия.

Но все то же самое, на этом будет настаивать наш скептик, можно описать иначе. Пассажир бросает мо-

нету, монета падает вниз и ударяется об оконечность рычага, передавая ему некоторое количество движения. Если монета правильная, то есть имеет строго определенную массу и в процессе падения приобрела нужный (не больше и не меньше) запас кинетической энергии, а следовательно, и количества движения, рычаг перемещается и в дальнейшем препятствует закрыванию турникета. Как видите, все то же самое удалось описать, не привлекая понятия связи или информации.

Ну что ж, давайте рассмотрим другой пример. В данном случае повторим еще одну историю, которую рассказал Р. Макол в своем докладе, уже упоминавшемся в начале беседы.

Однажды к нему обратился за консультацией хозяин небольшой фирмы, занимавшейся торговлей молочными продуктами. Суть вопроса состояла в следующем. Основными продуктами, пользующимися спросом в округе, является свежее молоко и творог. Молока фирма продает, скажем, 85 процентов от общего объема продажи и при этом на каждом литре молока получает прибыль, скажем, 10 процентов. Объем продажи творога составляет остающиеся 15 процентов, но на твороге фирма терпит убыток, скажем, 7 процентов. Нельзя ли как-то решить подобный вопрос с привлечением современных научных методов управления.

Задача была серьезно изучена сотрудниками Р. Макола, как говорят, формализована и введена в ЭВМ. Ответ ЭВМ не заставил себя ждать. Раз торговля творогом приносит убыток, сообщила ЭВМ, следует просто прекратить продавать творог.

Такой ответ ни в коей мере не устроил заказчика. Те, кто занимается торговлей, прекрасно осведомлены о наличии такого факта, как психология покупателя. Если покупатель перестанет находить на прилавках излюбленного им магазина на привычном месте нужный ему творог, он просто перестанет посещать этот магазин, и фирма потеряет по меньшей мере 15 процентов клиентов, которые и молоко и другие продукты начнут покупать у конкурентов.

Ответ был найден тогда, когда решение задачи было поручено профессионалам-коммивояжерам. По городку поползли слухи, что потребление творога увеличивает вероятность заболевания холециститом и вообще творог

содержит канцерогены. Спрос на творог резко упал, и фирма перестала терпеть убытки.

Только что рассмотренный пример, конечно, не единственный, но он хорошо показывает, что информация (в данном случае, если угодно, даже дезинформация) не сопутствует процессам управления, а, наоборот, создает условия, при которых они могут совершаться. В процессах управления информация имеет столь же принципиальное значение, сколь и конечность скорости передачи взаимодействий в механике. К слову сказать, передача взаимодействий всегда сопровождается передачей информации, так что можно говорить о связях между кибернетикой и теорией относительности. Однако подобный разговор увел бы нас слишком далеко в сторону.

Кибернетика — наука об информационном управлении, и Н. Винера с полным правом можно считать творцом этой науки. Поскольку информационный аспект кибернетики и составляет ее основное новое ядро, именно ему в кибернетической литературе уделялось относительно мало внимания. Все новое воспринимается не сразу. Лишь в середине 60-х годов появились работы научной школы академика Б. Петрова (1913—1981), посвященные информационной теории автоматического управления. Своего полного развития эти работы не получили и до настоящего времени.

В любом процессе управления информация играет основную роль. Это тем более заметно, чем сложнее процесс, чем больше различных возможностей возникает перед системой и соответственно чем среди большего количества возможностей осуществляется выбор в процессе управления. Ну а как же математика? — наверняка спросит кто-нибудь из читателей.

А МАТЕМАТИКА!

Все сказанное распространяется на мысли Н. Винера об организации коллективов, где математики трудились бы бок о бок с физиологами. Подобные коллективы не раз и не два формировались, но эффекта, которого ожидали от этого Н. Винер и его последователи, они не принесли. Чистый математик-профессионал — это чело-

век, умеющий создавать абстракции и оперировать с ними, изучая различные свойства таких «простых» абстракций, как число, точка, числовая ось, пространство и т. п., и сложных конструкций, составленных из нескольких абстракций. Что значит получить результат в математике? Обнаружить новое свойство, а еще лучше группу свойств данной абстрактной конструкции.

Инженер или физиолог может использовать математические результаты для описания изучаемых ими объектов и предсказания их поведения. Для этого совершенно необязательно быть математиком. Нужно знать о существовании того или иного математического аппарата и ориентироваться в особенностях применения этого аппарата. Человек, имеющий понятие о существовании квадратного управления, умеющий брать интегралы, решать дифференциальные уравнения и т. п., но и только, это ни в коем случае не математик, просто грамотный человек. Между подобным человеком и математиком-профессионалом лежит такая же пропасть, как между человеком, просто умеющим читать и писать, и поэтом или писателем.

У математиков и представителей естественных наук разный образ мышления. С позиций сегодняшних знаний, высказывается предположение, что инженер и математик мыслят разными полушариями головного мозга: инженер — правым, математик — левым. В одном человеке способности инженера и математика почти никогда не совмещаются. Такие случаи известны, но за всю историю человечества они насчитываются единицами.

Зато история науки знает много примеров, когда для описания изучаемых ими явлений ученые пользовались неким математическим аппаратом, не подозревая о его существовании. Так случилось с О. Хевисайдом, который разработал операторный метод исследования электрических цепей, не имея ни малейшего представления о том, что он пользуется известным преобразованием Лапласа.

Можно ли считать, что инженер О. Хевисайд заново создал преобразование Лапласа, получив тем самым некоторый результат в математике? В том-то и дело, что нельзя. В разделе математики, посвященном инте-

гральным преобразованиям (частным случаем здесь является преобразование Лапласа), основной вопрос — это условия существования таких преобразований и их свойства. О. Хевисайда это совершенно не занимало. Он использовал случайно обнаруженный им факт, что замена операции дифференцирования умножением на некоторую специальную величину — оператор — позволяет преобразовать трудно решаемые дифференциальные уравнения в более просто решаемые алгебраические уравнения. Если бы подобную операцию можно было совершать не над каждым дифференциальным уравнением, а скажем, над девятью из десяти, О. Хевисайда это ничуть бы не смутило. Он придумал бы какой-нибудь способ проверки.

Похожий случай произошел с В. Гейзенбергом. Создавая свою матричную механику, он не знал, что пользуется известной матричной алгеброй. И про В. Гейзенберга нельзя сказать, что он заново создал матричную алгебру. Он не исследовал ее свойств, а лишь убедился, что, совершая определенные действия, получает интересующий его результат. Все сказанное хорошо иллюстрирует знаменитая фраза А. Эйнштейна: «После того как математики занялись теорией относительности, я, кажется, перестал ее понимать».

Физиолог или инженер, не обладающий математической грамотностью, не сумеет сформулировать свою задачу так, чтобы математик ее понял и смог решить. Тому имеется тьма примеров. Если физиолог или инженер настолько подготовлен, что способен объяснить математику, что ему нужно, он почти наверняка сам в силах сформулировать и решить свою задачу. Причем в общем случае лучше, если решением таких задач занимается сам специалист. Размышляя в поисках пути решения, он видит перед собой реальные клетки и хромосомы или конденсаторы и сопротивления, а не точки и матрицы. Наверняка большую помощь ему окажет интуиция, которой не может быть у математика, представляющего себе живую клетку как совокупность абстрактных объектов.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

В начале 1970 года на улицах академгородка под Новосибирском часто можно было встретить человека, одетого, несмотря на тридцатиградусные сибирские морозы, в тончайшую нейлоновую курточку. Чувствовал он себя, судя по всему, вполне комфортно, но длинная с проседью борода очень быстро покрывалась сосульками. Человек этот был известный ученый, профессор Стенфордского университета в США, один из создателей учения об искусственном интеллекте Дж. Маккарти. В феврале того же 1970 года Дж. Маккарти приехал в Москву и принял приглашение провести встречу с советскими учеными, организованную редакцией «Литературной газеты».

В беседе принимали участие руководитель отдела науки «Литературной газеты» В. Михайлов, заместитель директора института морфологии животных, доктор биологических наук, профессор Г. Смирнов, сотрудник Центрального экономико-математического института доктор экономических наук А. Каценелинбойген и один из авторов этих строк. Передаем слово профессору Маккарти.

Маккарти. По-моему, проблема искусственного интеллекта состоит из двух частей: проблемы эвристик и проблемы представления. Проблема эвристик изучается уже довольно давно. Впервые элементы искусственного интеллекта — эвристики — были введены в программу для игры в шахматы, программу для доказательства математических теорем и другие. Пока что исследователи изучают только пути решения этой проблемы, то есть решают, как сделать самую лучшую машину для игры в шахматы и т. д.

Проблема представления возникает тогда, когда необходимо создать программу общего типа, ведь программа для шахмат не может доказать теоремы, не может обсуждать различные вопросы. Проблема представления и состоит в том, чтобы выявить, как представлять мир в общем. Философы называют эту проблему эпистемологической. Мы сейчас работаем вместе с философами — иначе невозможно ответить на вопрос, что такое знание. Что значит, я знаю его телефон? Что значит, я могу найти его телефон в телефонной книжке? Что зна-

чит причинность? Лично я сейчас занимаюсь проблемами представления. Они довольно трудны и мало разработаны.

Мы разрабатываем искусственный язык, с помощью которого можно выражать такие понятия, как законы движения падающих тел, и такие качественные законы, как, например, если сверкает молния, то вслед за этим загремит гром; если расстояние между пунктами *A* и *B* равно *x* и при этом *x* меньше определенной величины, то можно пройти из *A* в *B* пешком.

Наши студенты написали ряд программ для решения проблемы, как проехать из одного места в другое. Мы рассматриваем и более сложные проблемы типа: «Я хочу поехать в Нью-Йорк, но как это сделать? Можно лететь самолетом, но я не знаю расписания самолетов. В агентстве «Панамерикэн» известно, когда самолеты улетают в Нью-Йорк, но у меня нет телефона этого агентства. Помню только, что нужно набирать пятерку или девятку (номер справочного бюро), чтобы найти их телефон».

В настоящее время мы занимаемся построением такой структуры знания.

Михайлов. В какой мере поведение, описанное определенным образом, моделирует интеллект? Возможно, сравнение искусственного и естественного интеллектов — это вопрос, который перед Вами не стоит, но в какой мере можно закономерно говорить об искусственном интеллекте?

Маккарти. Думаю, что когда мы изучаем естественный интеллект, наше положение хуже, чем когда мы изучаем, например, процесс пищеварения. Известно, что процесс пищеварения может совершаться на основе одного из нескольких возможных механизмов. Следовательно, задача здесь в том, чтобы выбрать тот единственный механизм, который на самом деле имеет место в организме человека. Для исследования процессов, совершающихся в тот момент, когда человек решает, как ему улететь в Нью-Йорк, мы пока не можем предложить ни одной достаточно достоверной модели. Нам не из чего выбирать.

Можно рассматривать эту проблему с различных точек зрения. Моя точка зрения такова — найти сначала

хотя бы один механизм, а потом уже искать, каким механизмом пользуется человек.

Михайлов. Вы считаете, что физиологический механизм в данном случае не может разрешить задачи?

Маккарти. Нет, может. Но существуют два уровня действия: физиологический и психологический. Оба уровня можно исследовать либо путем экспериментов с человеком, либо путем экспериментов с машиной. Можно проводить также психологические и физиологические эксперименты.

Кроме того, можно строить программы, которые работают на психологическом уровне, или строить сеть искусственных нейронов, которая работает на физиологическом уровне. Каждый из этих подходов открывает свои возможности. Я работаю на уровне психологическом — с программами, а не с людьми.

Смирнов. Подобный вопрос имеет отношение к психологическим механизмам, но его содержание не может быть выражено через закономерности физиологических процессов — в понятии концепции. Тут физиологи находятся в очень большом затруднении, потому что если профессор Маккарти исследует задачу проезда из Чикаго в Нью-Йорк, то мы не знаем даже, как в нашем мозгу решается задача два плюс два и получается четыре. А это гораздо проще, чем добраться из Чикаго в Нью-Йорк. Закономерности главных процессов, которые совершаются в центральной нервной системе, известны нам пока в самых основных, элементарных своих проявлениях.

В течение месяца я работал с Норбертом Винером. Норберт Винер очень интересовался нейрофизиологией, но ему тоже не удалось, кроме общих представлений гомеостаза и обратной связи, найти какие-либо подходы к пониманию тех процессов, которые составляют элементы высшей нервной деятельности человека, то есть элементы интеллекта.

Профессор Маккарти, интересно, как бы Вы определили само понятие интеллекта?

Маккарти. Я думаю, что определение понятия интеллекта — это составная часть теории интеллекта, а я совсем не готов предложить такую теорию. Постараюсь дать косвенное определение. Можно сказать, что машина имеет интеллект, если она способна делать та-

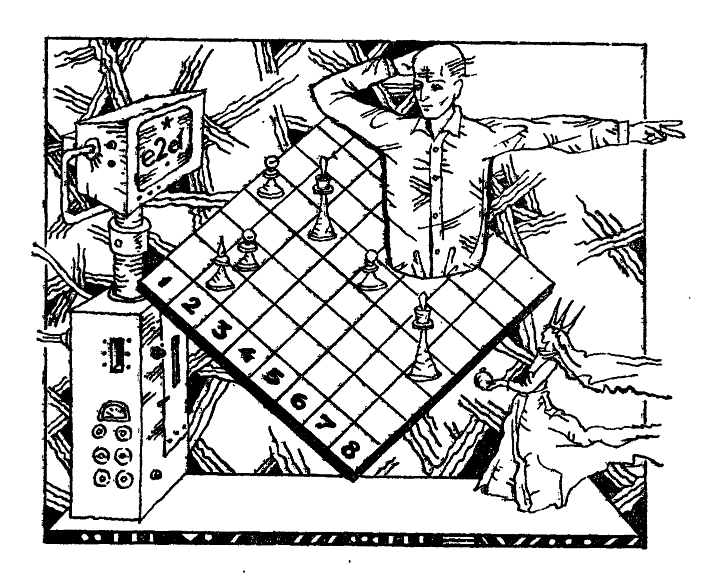
кие вещи, что если бы их делал человек, то мы имели бы основание считать его умным. Кроме того, существуют проблемы исследования интеллектуальных механизмов, то есть механизма поиска методов, механизма принятия альтернатив, а также проблема выделения информации при исследовании механизма обучения. Мне кажется, что можно исследовать эти механизмы, не имея общего определения понятия интеллекта.

Каценелинбойген. Расширение связей между физикой и биологией привело, кроме всего прочего, к появлению концепции информационного уровня исследований. Речь идет о построении модели на информационном уровне. В отличие от обычных физических моделей модели на информационном уровне обладают тем преимуществом, что они не обязаны подчиняться некоторым фундаментальным законам природы, как, например, закону сохранения вещества. Кроме того, работая на информационном уровне, мы достаточно легко можем создавать искусственные системы и изучать частичные аналогии их с физическими системами.

Маккарти. По-моему, мы не располагаем столь большим количеством информации, чтобы ставить вопрос о том, принимать или не принимать какую-либо ее часть. Одинаковую ценность представляет как информация, получаемая из прямых физиологических экспериментов, так и информация, получаемая из экспериментов над искусственными системами. Я думаю, что здесь нет методологического вопроса и поэтому не нужно решать, какой подход лучше. Каждый исследователь может выбирать путь исследований на основании своего опыта и возможностей.

Михайлов. Какова цель, которую Вы ставите перед собой, имея в виду понимание тех механизмов, которые происходят в мозгу человека при формировании поведения, и психологический элемент? Предположим, создание искусственного интеллекта... Но тогда надо знать, в какой мере он моделирует естественный интеллект, потому что он моделирует какие-то его стороны. Действительно, машина может поступить очень умно, но в ограниченном диапазоне действий. В какой мере это будет модель естественного интеллекта?

Маккарти. Когда я готовлю программу для игры в шахматы и мой ассистент предлагает ввести в про-



грамму некоторую эвристику, я говорю ему: «Нет, эта эвристика нам не нужна, потому что она не существует в человеке». Но после того как программа отлажена и даже стала чемпионом мира, я могу спросить себя: похожа она на человека или нет?

Это один ответ на Ваш вопрос. Однако объективны ли механизмы интеллекта или они зависят от человека? Должны ли марсиане думать подобно нам или они совсем отличаются от нас интеллектуально?

Мне кажется, что механизмы интеллекта имеют объективный характер. Когда человек, машина или марсианин играет в шахматы, чтобы добиться успеха, любой из них должен использовать много различных естественных механизмов. Причем эти механизмы определяются существом задачи, которую надо решать, и не зависят от того, кто решает эту задачу.

Шилейко. Любые программы игры в шахматы состоят в том, что сначала создается некоторая система оценок, а затем различные возможные позиции на доске сравниваются, исходя из этой системы. Цель состоит в том, чтобы найти ход или последовательность ходов, дающий максимальную величину оценки. Есть основания полагать, что человек играет не так. Вряд ли он хо-

тя бы подсознательно занимается вычислениями и подсчитывает значение оценок. Скорее он стремится создать на доске определенный рисунок.

Маккарти. То, о чем Вы говорите, не зависит от факта, что можно делать количественные оценки позиций. Все, что Вам нужно, чтобы использовать эвристику, — это иметь возможность тем или иным способом сравнивать позиции. Вы считаете, что механизмы интеллекта совершенно не зависят от человека, то есть имеют объективный характер. Я тоже думаю, что они имеют объективный характер, но при этом зависят и от человека тоже.

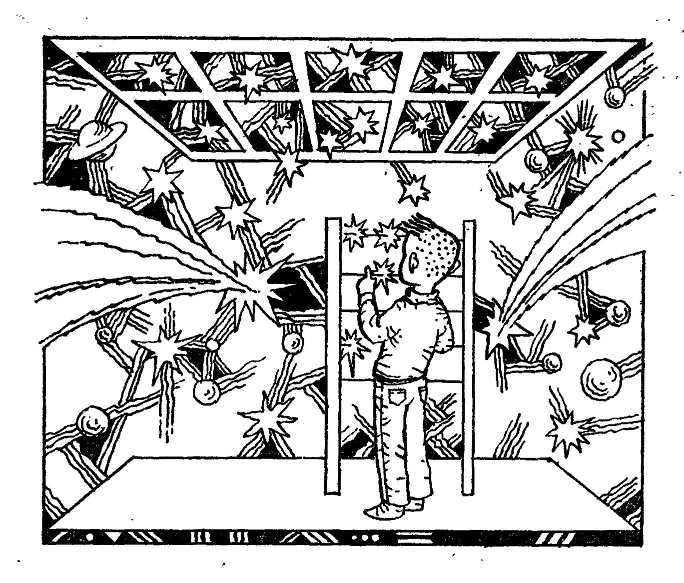
Михайлов. Объективный в том смысле, что они обусловлены задачей?

Маккарти. Механизмы интеллекта зависят от того, что некто решает проблему, и не зависят от того, кто этот некто — человек, машина или марсианин.

Шилейко. Я вернусь к началу нашей беседы. Мы установили, что работа может вестись на двух уровнях: физиологическом и психологическом — нельзя ли предположить (я просто высказываю такую гипотезу), что математическая теория вычислений связывает эти два уровня? Она дает возможность чисто формальными способами описывать как процессы, где в явной форме выступает физический объект, порождающий эти процессы, так и процессы на психологическом уровне.

АСТРОНОМИЯ И МЕТЕОРОЛОГИЯ

Кибернетика породила в своих недрах методы получения, хранения, передачи и преобразования информации, а также теорию информации. Правда, теория информации в том виде, как ее построил К. Шеннон, требует существенного пересмотра и работы в этой области еще только начинаются. Кроме того, кибернетика поставила вопрос о единстве процессов переработки информации в мозгу человека и в искусственных системах. Состояние этого вопроса хорошо иллюстрируется фрагментами дискуссии, приведенными выше. Обобщая, можно сказать, что кибернетика породила в своих недрах новое научное и техническое направление, получившее название информатики.



Ответить на вопрос, что такое информатика? — достаточно просто. Информатика — это совокупность методов и средств сбора, хранения, передачи и преобразования информации. Так же как и в случае кибернетики, для того чтобы сделать эти слова понятными, требуются тома и тома.

Первую главу своей книги Н. Винер начинает с того, что цитирует немецкое стихотворение для детей:

Знаешь, сколько звезд сияет
Над тобой во тьме ночной?
Знаешь, сколько тучек тает
В чаще неба голубой?
Только бог про это знает,
До единой он считает
Их огромное число.

Н. Винер приводит это стихотворение для того, чтобы поговорить, сколь различны науки астрономия и метеорология. В одной — все четко и размеренно, в другой — расплывчато и неясно. Мы преследуем цель, прямо противоположную. Хотим показать, что астрономию и метеорологию объединяет необходимость получать огромное количество информации. И современная астрономия, и современная метеорология возможны при

наличии информационной индустрии, а информационной индустрии будет посвящена наша книга.

В течение всей истории своего существования сначала робко, а затем все ускоряясь и ускоряясь и достигнув к настоящему времени поистине гигантских темпов, человек создает вокруг себя искусственную природу — техносферу. Эта искусственная природа вышла уже на такой уровень, что продолжать подчинять ее себе человек может, только безупречно владея законами и методами теории управления. Если кому-нибудь эти слова кажутся чересчур смелыми, пусть он представит себе последствия хотя бы кратковременного выхода из синхронизма отдельных компонентов большого энергетического кольца, которые сегодня существуют во всех развитых странах. Подобное однажды случилось в США и носило характер, говорим это без преувеличения, национальной катастрофы, как и катастрофа «Челленджера». Можно вспомнить Чернобыль, но разве и так не все ясно?

По этой причине мы решили открыть нашу книгу беседой не о кибернетике, а о событиях, так или иначе сопутствовавших ее провозглашению в конце 40-х — начале 50-х годов нашего века. Натолкнула нас на мысль о такой беседе фраза Н. Винера: «Информация есть информация, а не материя и энергия». Если бы он к тому же еще объяснил, что такое информация, его с полным правом можно было бы считать отцом информатики. Но этого не случилось. Вопрос о том, что такое информация, еще не раз возникнет на страницах этой книги.

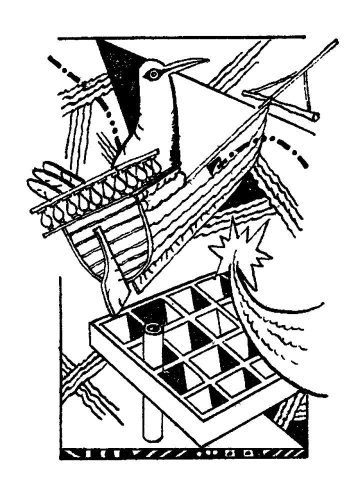
По мере создания техносферы в наш язык входили такие понятия, как электрификация, коллективизация, индустриализация. Сейчас настала пора, так считает академик А. Ершов, председатель научного совета АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика», ввести понятие информатизации.

Информатизация — комплекс мер, направленных на обеспечение полного использования достоверного, исчерпывающего и своевременного знания во всех общественно значимых видах человеческой деятельности. Информация, то есть совокупность знаний о фактических данных и зависимостях между ними, становится стратегическим ресурсом общества в целом, во многом обусловливающим его способность к успешному развитию. Тех-

ническим средством освоения такого ресурса все в большей степени выступают ЭВМ и средства связи. Информатизация — всеобщий и неизбежный период развития человеческой цивилизации, период освоения информационной картины мира, осознания единства законов функционирования информации в природе и обществе, практического их применения, создания индустрии производства и обработки информации. Современные системы обработки и передачи информации формируют своего рода нервную систему живого организма человеческого общества, придавая этому организму небывалую пластичность и способность к развитию.

Объективная неодолимость информатизации общества еще не означает, что любая конкретная программа ее реализации, так сказать, обречена на успех. Обладая рядом «трудных» свойств, присущих любой глобальной инфраструктуре, инфосфера чрезвычайно чувствительна к человеческому фактору. Включая в себя средства массовой информации как составную часть, она никоим образом не может к ним сводиться. Сравнительно простая и однородная распределительная функция средств массовой информации должна быть дополнена разнообразными средствами поддержки творческой деятельности человека с целью повысить ее общественную продуктивность, не нарушая ее интимной и индивидуальной природы.

Информатика не только новая, но и сложнейшая отрасль современной науки и техники. Она ведь замахивается на познание и воспроизведение структуры человеческого мышления. Поэтому труд читателя, вознамерившегося прочесть наши беседы, будет, прямо скажем, нелегким. Как могли, мы старались облегчить этот труд, приводя многочисленные примеры, а иногда просто рассказывая веселые байки, подтекст которых должен, по нашему мнению, способствовать пониманию того, что мы хотели сказать. Но удавались нам эти попытки далеко не всегда. За трудности, с которыми читатель наверняка встретится при чтении книги, мы приносим ему наши самые искренние извинения.



Беседа вторая

КОМУ ОН МОЖЕТ ПОНАДОБИТЬСЯ?

КТО? ГДЕ? КОГДА?

«Из интервью, которое специальный корреспондент Хармонтского радио взял у доктора Валентина Пильмана по случаю присуждения последнему Нобелевской премии по физике за 19... год.

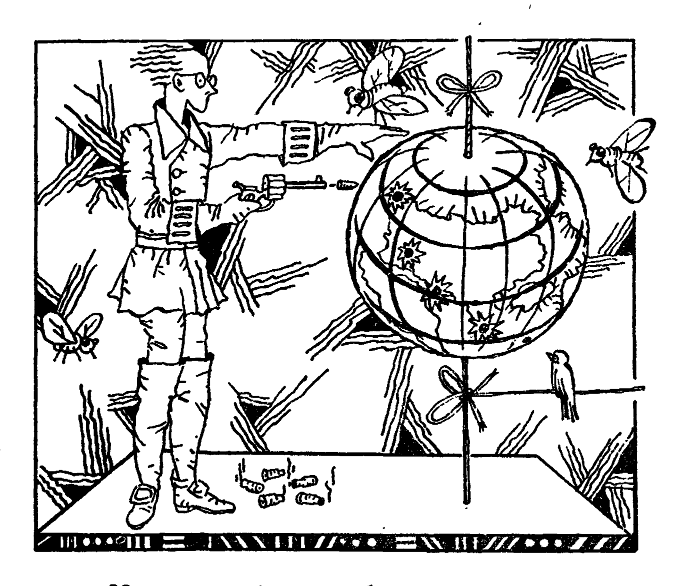
— Вероятно, вашим первым серьезным открытием, доктор Пильман, следует считать так называемый радиант Пильмана!

— Полагаю, что нет. Радиант Пильмана — это не первое, не серьезное и, собственно, не открытие. И совсем не мое.

— Вы, вероятно, шутите, доктор. Радиант Пильмана — понятие, известное всякому школьнику.

— Это меня не удивляет. Радиант Пильмана и был открыт впервые именно школьником. К сожалению, я не помню, как его звали. Посмотрите у Стетсона в его «Истории Посещения» — там все это подробно рассказано. Открыл радиант впервые школьник, опубликовал координаты впервые студент, а назвали радиант почему-то моим именем.

— Да, с открытиями происходят иногда удивитель-

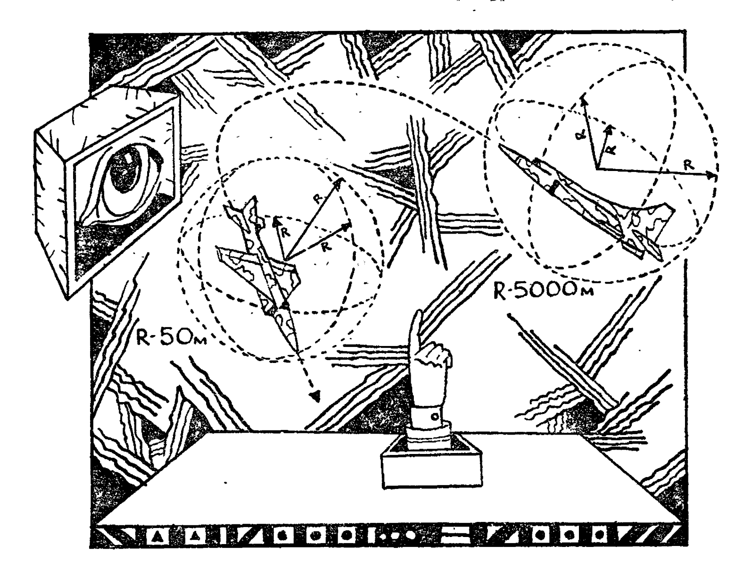


ные вещи. Не могли бы вы объяснить нашим слушателям, доктор Пильман...

— Послушайте, земляк. Радиант Пильмана — это совсем простая штука. Представьте себе, что вы раскрутили большой глобус и принялись палить в него из револьвера. Дырки на глобусе лягут на некую плавную кривую. Вся суть того, что вы называете моим первым серьезным открытием, заключается в простом факте: все шесть Зон Посещения располагаются на поверхности нашей планеты так, словно кто-то дал по Земле шесть выстрелов из пистолета, расположенного где-то на линии Земля — Денеб. Денеб — это альфа созвездия Лебедя, а точка на небесном своде, из которой, так сказать, стреляли, и называется радиантом Пильмана».

Почему мы начали свою вторую беседу отрывком из повести А. и Б. Стругацких «Пикник на обочине»? По двум причинам. Во-первых, ситуация, похожая на описанную у Стругацких, имела место при становлении общей теории связи, которая — ныне это общепризнано — представляет собой важную составную часть кибернетики. Во-вторых, и в том и в другом случае все началось со стрельбы.

Н. Винер, по его собственным словам, занялся тео-



рией информации, решая задачу о стрельбе из зенитных орудий по самолетам. В той же «Кибернетике», в первой главе, он пишет: «Чтобы подойти к технике связи с этой стороны, нам пришлось разработать статистическую теорию количества информации. В этой теории за единицу количества информации принимается количество информации, передаваемое при одном выборе между равновероятными альтернативами. Такая мысль возникла почти одновременно у нескольких авторов, в том числе у статистика Р. А. Фишера, у д-ра Шеннона из Белловских телефонных лабораторий и у автора настоящей книги».

Как все обстояло на самом деле? Начало исследований в данной области положили труды Р. Фишера по статистической теории информации. В 1921 году он опубликовал «Статистические методы для исследователей», где впервые обозначил подходы к тому, что теперь, во всяком случае в литературе на русском языке, принято называть общей теорией связи. В 1928 году американский инженер Р. В. Л. Хартли опубликовал статью под названием «Передача информации». Он писал:

«Говоря о пропускной способности системы передачи информации, мы молчаливо предполагаем какую-то количественную меру информации. В обычном понимании

термин «информация» слишком эластичен; необходимо прежде всего установить для него специфический смысл, подразумеваемый в настоящем исследовании. С этой целью рассмотрим, с какими факторами мы имеем дело в связи, осуществляется ли она по проводу, путем устной речи, письма или каким-либо другим способом».

Пожалуй, Р. Хартли первым осознал необходимость перехода от эластичного общепринятого понятия об информации к строгому научному определению.

Раз уж мы предприняли исторический экскурс, нельзя не упомянуть работу советского ученого, ныне академика В. А. Котельникова «О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи», опубликованную в 1933 году. Почти во всех трудах по общей теории связи и теории информации ссылаются на работу Н. Винера «Экстраполяция, интерполяция и сглаживание стационарных временных рядов», опубликованную в 1949 году. Для полноты картины стоит напомнить, что работа академика А. Н. Колмогорова «Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей» вышла в 1941 году.

Суть, конечно, не в том, кто первым сказал «Э!». Надо разобраться в главном — что такое информация. Для этого вернемся к задаче о стрельбе по самолетам. Предположим, что точка, где находится самолет в данный момент времени, известна. Самолет виден невооруженным глазом, и с помощью угломерных инструментов можно измерить его координаты. Как правильно отметил Н. Винер, целиться в эту точку бессмысленно, потому что скорости снаряда и самолета имеют один и тот же порядок (то же самое тем более справедливо для современных ракет) и за то время, пока снаряд долетит до точки прицеливания, самолет отойдет от нее на достаточно большое расстояние. Следовательно, целиться надо не в ту точку, где самолет находится в момент выстрела, а в ту, где он окажется в момент, когда снаряд достигнет места встречи. Но как узнать координаты точки встречи?

Трудами многих ученых, среди которых значительное место занимают работы А. Колмогорова и Н. Винера, была создана теория временных рядов. Не вдаваясь в подробности, скажем, что наглядным примером временного ряда могут служить последовательные положения

самолета, совершающего маневр. Теория временных рядов установила, что, зная прошлые значения членов временного ряда, можно вынести суждение о значениях будущих его членов. В нашем случае, зная прошлые положения самолета (по условию задачи они известны), можно предсказать его будущее положение.

На основании теории временных рядов или какой-нибудь другой теории мы действительно можем узнать будущее положение самолета и вести прицельную стрельбу в эту точку. Знать — это располагать информацией об исследуемом предмете. Вряд ли кто-нибудь станет спорить с таким определением. А коли так, то теория временных рядов, казалось бы, дает возможность получить определенную информацию — информацию о будущем положении самолета, — которую мы не можем получить в результате наблюдений или, скажем, с помощью интуиции.

Представьте себе, что в некоторый момент времени вы наблюдаете самолет в определенной точке пространства. Скорость самолета ограничена, и, следовательно, через десять секунд он не может отлететь от этой точки на расстояние, большее чем пять километров. Нам неизвестно, какое направление дальнейшего полета выберет летчик, тем не менее мы можем утверждать, что через десять секунд самолет заведомо окажется где-то внутри шара радиусом пять километров. Как видите, что-то все-таки можно предсказать, не пользуясь ничем, в том числе и теорией временных рядов, а зная лишь, как говорят, тактико-технические данные современных самолетов. Добавим, что для прицельной стрельбы достаточно знать проекцию этого шара на плоскость предполагаемой траектории полета снаряда. Такое знание называется априорным: наблюдая самолет в данной точке и зная его предельную скорость, вы одновременно знаете радиус некоторой окружности, внутри которой он находится.

Проведем вычисления на основании теории временных рядов. Как бы аккуратно их ни проделывать, вы в результате не узнаете точки, в которой самолет будет находиться через десять секунд. Вы снова узнаете лишь радиус окружности, в пределах которой он будет находиться. За количество информации, полученной в процессе вычислений, предлагается принять отношение ра-

диуса окружности, о котором вы знали до вычислений, к радиусу окружности, полученному в результате вычислений.

Неважно, кто первый предложил такую меру количества информации — Н. Винер или другой американский ученый — К. Шеннон. На первый взгляд правомочность использования такой меры не вызывает сомнений. Не проведя вычислений, вы знали, что самолет будет находиться где-то внутри круга радиусом пять километров. Проведя вычисления, вы знаете, что самолет будет находиться опять-таки внутри круга, но радиусом, скажем, пятьдесят метров. Произошло несомненное уточнение будущего положения самолета. А раз произошло уточнение, значит, ясно, что вы получили информацию и тем ее больше, чем точнее вы знаете будущее положение самолета.

Строго говоря, за меру количества информации предлагалось принимать не саму величину отношения, а величину логарифма от этого отношения, но об этом речь впереди. Добавим, что стрелять даже не зенитным снарядом, а современной ракетой класса земля—воздух куда-то в центр круга радиусом в пять километров бессмысленно. Только по счастливой случайности удастся поразить самолет. Иное дело стрелять в центр круга радиусом пятьдесят метров. Если самолет находится в пределах этого круга, а ракета имеет современную боеголовку, цель будет поражена наверняка. Так что предложенная мера количества информации имеет явно выраженный прагматический смысл. Казалось бы, на этом можно поставить точку и задним числом поздравить авторов столь удачного определения количества информации. Но подождем, как говорится, радоваться.

СПОРТЛОТО

Проницательный читатель наверняка заметил, что почти во всех названиях перечисленных работ фигурирует слово «статистический». А это означает, что на основании теории временных рядов или любой другой подобной ей теории можно предсказать будущее положение самолета не абсолютно точно, но с определенной вероятностью. Сколь-либо подробное обсуждение суще-

ства и возможностей теории вероятностей не входит в наши задачи. Мы ограничимся только одним примером.

Некто сохраняет все таблицы тиражей спортлото. В один прекрасный день он раскладывает перед собой эти таблицы и проводит исследование. Его интересует, сколько раз за все время существования спортлото выпадала, скажем, цифра семь. Ясно, что рассмотрение одной таблицы ответа на этот вопрос не даст. Не даст ответа и изучение десяти или ста таблиц. Вот если таблиц окажется очень много, наш пытливый исследователь получит возможность убедиться, что цифра семь выпадает в среднем один раз на каждые сорок девять таблиц. Это и есть основной вывод теории вероятностей. Согласно строгому определению вероятностью выпадения семерки (или любой другой цифры) называется предел отношения числа таблиц, содержащих семерку, к общему числу таблиц при условии, что это общее число таблиц стремится к бесконечности.

Следовательно, теория информации дает нам возможность утверждать, что в игре в спортлото любая загаданная цифра, например семерка, встречается в среднем один раз на сорок девять таблиц. Та же самая теория вероятностей утверждает и следующее. Это утверждение мы приводим специально для тех, кто пытается предсказать выигрышную комбинацию на основе анализа предыдущих таблиц. Если, скажем, состоялось пятьдесят тиражей подряд и в них ни разу не встретилась семерка, то вопреки всем ожиданиям это обстоятельство нисколько не увеличивает вероятность выпадения семерки в следующем, пятьдесят первом тираже. Она попрежнему остается равной одной сорок девятой. В справедливости этого утверждения каждый из уважаемых читателей может убедиться лично. Вероятность того, что семерка не выпадет в двух тиражах подряд, выражается довольно большой величиной. Тем не менее просмотр тех же таблиц показывает, что такое в общем встречается и не столь уж редко.

Теперь мы сформулируем основной вопрос. Предположим, что обнаружен самолет в данной точке, проведены необходимые вычисления, нацелено зенитное орудие туда, куда его нужно нацеливать в соответствии с вычислениями, и произведен выстрел. Можно ли быть уверенным, что вражеский самолет поражен? Увы, ни

в коем случае! Самолет или будет поражен, или нет. К нашему великому сожалению, это единственное, что можно сказать. Независимо от того, равна вероятность поражения 0,6, или 0,9, или 0,99, ответ на вопрос одинаковый. С одного выстрела самолет или будет поражен, или нет — и добавить к этому нечего. Так же, как в игре в орлянку, если вы знаете, что монета вопреки всем ожиданиям сто раз подряд выпадала орлом (предполагается, что монета «правильная»), то о результатах сто первого бросания можно сказать только одно: монета выпадет или орлом, или решкой.

Какова же тогда ценность временных рядов и основанных на них методов предсказаний? Зачем оборудуют зенитные орудия дорогостоящими вычислительными устройствами, работающими на основе теории временных рядов или других статистических теорий?

Ответ достаточно прост, и он имеет принципиальное значение для всего, о чем мы собираемся говорить. Поэтому мы просим уважаемого читателя как следует обдумать вместе с нами то, что сейчас будет сказано.

Никто никогда не станет стрелять по вражескому самолету одним снарядом. Более того, почти во всех случаях поражение одного-единственного самолета, даже если он на самом деле будет поражен, не окажет существенного влияния на исход сражения.

Задача, которая ставится перед зенитной артиллерией, формулируется так: поразить наибольшее количество самолетов, затратив при этом наименьшее количество снарядов. Для решения подобной задачи статистические методы имеют поистине огромную ценность.

Здесь в точности та же ситуация, что и при изучении таблиц спортлото. Если таблиц достаточно много, то количество встретившихся там семерок близко к одной сорок девятой от числа таблиц, и тем ближе, чем таблиц больше. Если предсказание местоположения самолета производится с вероятностью, скажем, 0,6, то из тысячи выпущенных снарядов около шестисот попадут в цель. Это предсказание будет все более точным по мере увеличения числа снарядов и числа самолетов.

Теория вероятностей, а точнее, основанный на ней аппарат математической статистики представляет собой мощнейшее средство исследования массовых процессов. Средство тем более весомое, что для весьма точных и

далеко идущих предсказаний подчас требуется относительно немного исходных данных. Но речь идет именно о массовых процессах, в которых участвуют очень большие количества объектов.

Вернемся к тому, с чего начался этот разговор. Мы наблюдали самолет в некотором ряде его прошлых положений. На основании обработки данных наблюдений с применением некоторой статистической теории сделано предсказание будущего положения самолета. Можно ли сказать, что мы знаем будущее положение самолета, то есть имеем информацию о будущем его положении? Иными словами, можно ли считать, что мы знаем о местоположении самолета, если на вопрос: находится ли самолет в пределах круга данного радиуса или нет? — ответ будет или «да», или «нет». Повлияет ли он на то, что мы называем знанием, другая формулировка ответа: самолет будет находиться в пределах круга данного радиуса с вероятностью 0,6?

Пусть каждый из читателей постарается сам для себя ответить на поставленный здесь вопрос. Что касается авторов, то мы твердо убеждены в следующем. Знание вероятности наступления некоторого события представляет собой знание. Только это не знание о самом событии как таковом, а знание того, сколько раз может наступить это событие, если условия для его наступления создаются достаточно много раз подряд.

Любые выводы, основанные на вероятностях, нельзя считать информацией о событии. А количественную меру, построенную на вероятности, нельзя считать мерой информации.

Не скроем, подобное мнение противоречит установившейся на сегодня точке зрения большинства ученых на теорию информации. Поэтому нам представляется важным проследить тот исторический путь, в результате которого сформировался вероятностный подход к информационным процессам.

ТОЧКА ЗРЕНИЯ ПРЕЗИДЕНТА

В 1876 году президент США Гарфилд весьма категорично высказался по поводу телефона:

— Как открытие оно исключительное, но только кто им будет пользоваться?



Вопреки мнению президента телеграфная, телефонная, а в дальнейшем и радиосвязь развивалась чрезвычайно быстрыми темпами и со временем неотъемлемой составной частью вошла в промышленные комплексы и государственный аппарат многих стран. Стало ясно, что связь, тем более на далекие расстояния, достаточно дорогое удовольствие. Возникла насущная необходимость проектировать системы связи на строгой научной основе.

Общепризнанным основоположником современной общей теории связи, которую в большинстве случаев считают также и теорией информации, является американский ученый К. Шеннон. К. Шеннон занимался исследованием конкретного процесса — процесса передачи сигналов по телеграфным и телефонным каналам. Ход его рассуждений был примерно таким. По телеграфному каналу передаются сообщения, представляющие собой последовательности букв какого-нибудь алфавита, например латинского. При желании можно составить следующую таблицу соответствий: *a* — 00000, *в* — 00001, *c* — 00010, *d* — 00011, *e* — 00100 и т. д. Последовательность из пяти символов, каждый из которых может быть либо нулем, либо единицей, имеет 32 различные конфигурации. Этого достаточно, чтобы поставить по одной

из них в соответствие каждой букве латинского алфавита (их всего 26), а также некоторым самым важным знакам препинания.

Пусть символу 1 соответствует некоторое положительное электрическое напряжение в цепи телеграфного канала, а символу 0 — такое же по абсолютной величине, но отрицательное электрическое напряжение. Факт установления в телеграфной цепи напряжения данного знака называется посылкой. Каждая посылка соответствует одному символу: либо 1 (положительное напряжение), либо 0 (отрицательное напряжение). Длительность посылки определяется свойствами телеграфного канала и не может быть меньше некоторой величины τ. Шеннон считал все посылки одинаковой длительности, равной τ.

В подобных условиях передача одной буквы латинского алфавита занимает время, равное 5τ. Для передачи двух букв требуется $5{\cdot}2{\cdot}\tau$ и в общем случае для передачи n букв — $5n\tau$ единиц времени. Нельзя ли передать сообщение, представляющее собой последовательность n букв латинского алфавита, по данному каналу связи за время, меньшее, чем $5n\tau$? Такую задачу поставил перед собой и пытался решить К. Шеннон.

Оказалось, это задача разрешимая, если сообщения представляют собой слова какого-то языка или последовательности слов. Разрешима она потому, что разные буквы в любом языке встречаются не одинаково часто. Например, в тексте на русском языке длиной, скажем, в тысячу букв буква «о» встречается примерно 90 раз, буква «р» — 40 раз, а буква «ф» — 2 раза. Аналогичные закономерности справедливы для английского и других языков. В чем заключалась основная идея Шеннона?

Для чаще встречающихся букв использовать меньшее число посылок. Например, чаще всего встречающуюся в английских текстах букву «е» представлять одной посылкой, а букву «а» — двумя и т. д.

Сразу выяснилось, что подобная таблица соответствий была составлена задолго до работы К. Шеннона и называется она азбукой Морзе. В азбуке Морзе все так и делается: буква «е» представляется одной точкой (при желании и мы можем считать символ 1 точкой, а символ 0 тире), буква «а» — точкой и тире (в нашем случае комбинаций 10) и т. д.

Таким образом, теория Шеннона подтвердила эффективность азбуки Морзе, построенной исходя из интуитивных соображений.

Следующий шаг К. Шеннона состоял в том, что он подсчитал среднее количество посылок, приходящееся на букву. Как он это сделал? Взял количество посылок, потребное для передачи буквы «а», прибавил к нему количество посылок, потребное для передачи буквы «в», и так до конца алфавита; затем прибавил количество посылок, потребное для передачи точки, запятой, других знаков препинания, и полученную сумму разделил на 32. Вычислил величину, называемую арифметическим средним для совокупности из 32 чисел.

Мы подробно разбираем такой, казалось бы, элементарный вопрос, потому, что он имеет для нас принципиальное значение. Среднее количество посылок, приходящихся на букву русского алфавита, при условии, что передаются слова, фразы и тексты на русском языке, равно примерно 4,35. Эта величина представляет собой среднее арифметическое от числа посылок, требующихся для передачи букв русского алфавита, при условии, что частоты, с которыми эти буквы встречаются, характерны для русского языка.

К. Шеннон назвал эту величину средним количеством информации, приходящейся на символ. Для использования слова «информация» здесь не было никаких оснований. Речь шла о предельно ясной вещи: количестве посылок — количестве случаев, когда напряжение в телеграфной цепи либо положительное, либо отрицательное.

Слово «информация» К. Шеннон использовал, по всей видимости, потому, что не предвидел всех вытекающих отсюда последствий. Не менее важно и другое обстоятельство. Повсюду в работах К. Шеннона речь идет не о количестве информации вообще, а о среднем количестве информации, приходящейся на одну букву.

СТРЕМИМСЯ ВДАЛЬ

Математики любят, построив какую-нибудь формальную конструкцию, посмотреть, что с ней произойдет на бесконечности. Любовь эта небескорыстная. Часто ока-

зывается, что трудности, возникающие при попытках решения тех или иных задач, отпадают при предельном переходе.

Не избежал этого соблазна и К. Шеннон. Он решил посмотреть, что произойдет с его мерой при предельном переходе к бесконечности. Средняя частота, с которой встречается тот или иной символ, это количество раз, когда данный символ встречается в строке, состоящей, скажем, из тысячи символов. Поделите это количество раз на длину строки, в нашем случае на тысячу, получите величину, которая и называется относительной частотой в отличие от просто частоты.

Предел, к которому стремится относительная частота при неограниченном увеличении длины строки, есть не что иное, как вероятность встретить символ в тексте, написанном на каком-либо языке.

Вычислив предел относительных частот, с которыми встречаются символы алфавита, К. Шеннон определил среднее количество информации, приходящееся на один символ. Среднее количество информации, приходящееся на символ, оказалось обратно пропорциональным вероятности, с которой данный символ встречается в тексте.

Пока речь идет об одной-единственной задаче: как передать по каналу связи некоторое сообщение за минимальное время? С учетом огромного числа различных каналов связи в мире и их загруженности даже ничтожное сокращение затрат на передачу одного сообщения сулило грандиозный, как теперь говорят, экономический эффект. Так вот, учет частоты, с которой встречаются различные буквы английского алфавита, а теперь мы скажем — учет вероятностей, с которыми встречаются эти буквы, — позволяет уменьшить среднее количество посылок на символ приблизительно на 12 процентов. Это огромная величина. К. Шеннон стал бы мультимиллионером, если бы до него соответствующие методы уже не были предложены Морзе.

Все ли возможности исчерпаны учетом вероятностей появления отдельных букв?

Конечно, не все. Двухбуквенные сочетания также встречаются с различными вероятностями. Каждый знающий английский язык хорошо представляет себе, что сочетания «th» или «ou» встречаются чаще, чем другие.

Дальнейший выигрыш был получен с учетом вероятности двухбуквенных, трехбуквенных и так далее сочетаний. Снова возникает интересная подробность. Вероятность, с которой встречается некая пара произвольно выбранных из алфавита букв (без учета особенностей языка), равна произведению вероятностей появления каждой буквы. Произведению, а не сумме.

Не правда ли, знакомая нам ситуация? Среднее количество информации, приходящееся на сочетание из двух символов, равно произведению средних количеств информации, приходящихся на каждый символ. Это, что ни говори, неудобно. К. Шеннону не оставалось ничего другого, как пойти по пути, уже проторенному Р. Хартли: использовать не сами вероятности, а логарифмы этих вероятностей. В результате получилась знаменитая мера количества информации Шеннона.

Чтобы окончательно оправдать свой предельный переход, К. Шеннон ввел в рассмотрение стационарный стохастический источник, то есть гипотетическое устройство, которое в каждый момент времени из набора символов с некоторой заданной вероятностью выбирает один символ. Что означает слово «стационарный» в нашем случае?

Вероятности появления каждого символа не меняются во времени. Требование к стационарности совершенно необходимо. Сама по себе вероятность — это предел отношения количества случаев, когда встречается данный символ, к длине строки символов при условии, что длина строки стремится к бесконечности. А стремление длины строки к бесконечности означает, что время передачи t стремится к бесконечности.

Если допустить, что вероятность меняется со временем, понятие вероятности теряет смысл. Это весьма важное обстоятельство изощренные математики научились обходить с помощью так называемой эргодической гипотезы (конечно, в тех случаях, когда она справедлива), а большинство специалистов его просто забывают, что приводит к досадным недоразумениям.

Чтобы все стало совсем ясно, давайте рассмотрим такой пример. Пусть имеется строка текста, содержащая миллион символов. Пусть буква «а» встречается в этой строке 500 тысяч раз. Поделив пятьсот тысяч на



миллион, мы получим величину 0,5, которая представляет собой среднюю частоту, с которой в рассматриваемом тексте встречается буква «а». С учетом всех оговорок мы можем считать также величину 0,5 вероятностью появления буквы «а» в данном тексте.

Далее поступаем согласно К. Шеннону. Берем двоичный логарифм от величины 0,5 и называем то, что получилось, количеством информации, которую переносит одна-единственная буква «а» в рассматриваемом тексте.

Продолжаем анализ дальше. Пусть буква «б» встречается в том же самом тексте 250 тысяч раз. Делим 250 тысяч на миллион и получаем, что средняя частота (вероятность), с которой в данном тексте встречается буква «б», равна 0,25. Снова берем двоичный логарифм от величины 0,25 и получаем величину, равную количеству информации (по Шеннону), которое в данном тексте сопровождает появление каждый буквы «б». Такую же точно операцию мы проделываем далее для букв «в», «г», «д» и т. д.

Теперь теория К. Шеннона предлагает нам вычислить среднее количество информации, приходящееся на один символ. Для того чтобы вычислить среднее для какого-то количества чисел, мы должны сначала сложить

между собой все эти числа, а полученную сумму разделить на общее количество чисел. Сейчас мы это и проделаем, но применим одну хитрость.

Сначала сложим все числа, равные количеству информации, переносимой буквой «а». Полученную сумму сразу разделим на количество, как говорят, вхождений буквы «а» в изучаемый текст. Здесь мы применяем хорошо известное не только в математике, но и в литературе правило: от перестановки слагаемых сумма не меняется.

Затем складываем между собой числа, равные количеству информации, переносимой буквой «б». Делим полученную сумму на количество вхождений буквы «б» и т. д. Просим читателя подумать и убедиться, что мы действительно вычислили самое настоящее среднее. Просто при суммировании мы брали буквы не в том порядке, в каком они входят в текст, а сначала взяли все буквы «а», потом все буквы «б» и т. д. Интересно заметить, что точно так же поступают опытные кассиры, когда подсчитывают мелочь. Сначала сортируют монетки, а потом подсчитывают количество пятачков, трехкопеечных монет и т. д.

Итак, вместо того чтобы сначала просуммировать все количества информации, беря слагаемые в том порядке, в каком встречаются буквы в тексте, а затем разделить полученную сумму на общее количество букв, мы сначала суммируем все числа, относящиеся к букве «а», и делим сумму на общее число букв «а» в тексте, затем поступаем так же с буквой «б» и т. д. А затем складываем между собой полученные промежуточные результаты.

Обратите внимание на то, что единица, деленная на число вхождений, скажем, буквы «а», и есть не что иное, как частота или в нашем случае вероятность встретить букву «а» в данном тексте. Значит, логарифм от средней частоты, с которой встречается буква «а», да еще поделенной на общее число вхождений буквы «а», представляет собой произведение вероятности вхождения буквы «а» на двоичный логарифм этой вероятности.

Общий итог вычислений, равный по Шеннону средней информации на символ, представляет собой сумму членов вида: вероятность, помноженная на логарифм этой же самой вероятности, — причем общее число сум-

мируемых членов равно общему числу букв в исследуемом тексте.

А теперь самое интересное. На памятнике немецкому ученому Л. Больцману (1844—1906) высечена формула, выведенная им в 1877 году и связывающая вероятность состояния физической системы и величину энтропии этой системы. Мы не станем сейчас разбираться в смысле терминов: вероятность, состояние и энтропия. Скажем только, что энтропия — это термодинамическая величина, описывающая состояние нагретого тела, и что относительно этой самой энтропии выведен один из законов — так называемое второе начало термодинамики, — претендующий на роль одного из фундаментальных законов природы.

Так вот, формула, высеченная на памятнике Л. Больцмана, абсолютно совпадает с формулой, предложенной К. Шенноном для среднего количества информации, приходящейся на один символ. Совпадение это произвело столь сильное впечатление, что даже количество информации стали называть энтропией.

Теория, предложенная К. Шенноном, упала на исключительно благоприятную почву. В это время, то есть в 40-х годах нашего века, теория вероятностей совершала триумфальное шествие по разным отраслям знаний. Еще в конце XIX века завершилось построение термодинамики. К 30-м годам была окончательно сформулирована квантовая механика, в которой понятие о вероятности состояния занимает одно из центральных мест. И вот теперь — теория связи. Соображения, развитые К. Шенноном, позволили решить много практических задач и, в частности, чрезвычайно важную задачу выделения сигнала на уровне шумов. Применяя шенноновские методы, можно не только обнаруживать, но и исправлять отдельные ошибки, встречающиеся в передаваемых текстах. Справедливости ради скажем, что то же самое мы умеем делать и чисто интуитивно. Например, увидев в конце телеграммы слово «цекую», мы, не задумываясь, читаем его как «целую», не используя при этом никаких теорий.

В чем состояло основное достижение шенноновской теории? С ее помощью была доказана общая возможность выделения сигнала из смеси его с шумом даже в тех случаях, когда мощность шума во много раз превос-

ходит мощность сигнала. Это дало сильный толчок развитию радиолокации, радиоастрономии и других областей науки и техники.

Н. Винер включил шенноновскую теорию информации как составную часть своей кибернетики.

ДОЛОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ!

Средний логарифм вероятностей, или, иначе, величина, называемая энтропией, обладает примечательным свойством. Она принимает максимальное значение, когда все вероятности одинаковы или — применительно к термодинамическим системам, — когда все состояния системы равновероятны. Это послужило поводом для следующей трактовки шенноновской меры количества информации. Рассуждали примерно так.

Система, все состояния которой равновероятны, характеризуется наибольшей степенью неопределенности. Если все состояния равновероятны, нет никаких оснований выделить одно какое-то состояние, предпочесть его другим. Отсюда вывод: чем больше энтропия системы, тем больше степень ее неопределенности. Поступающее сообщение полностью или частично снимает эту неопределенность. Следовательно, количество информации можно измерять тем, насколько понизилась энтропия системы после поступления сообщения. За меру количества информации принимается та же энтропия, но взятая с обратным знаком.

Тут-то и вскрылась самая уязвимая точка шенноновской теории. В чем же дело? Пусть имеются две системы, характеризуемые в данный момент разными значениями энтропии, то есть разной степенью неопределенности. Обе системы получают одно и то же сообщение. Но энтропия их изменяется от полученного сообщения по-разному, в зависимости от их начального состояния. Значит, количество информации в сообщении зависит не от самого сообщения, а от того, кто его получает. Ясно, что в таких условиях не может быть построена никакая самосогласованная физическая теория.

Обычно высказанные соображения иллюстрируют следующим примером. Получено сообщение о том, что температура воздуха равна +20° С. Вероятность такого

значения температуры в наших широтах велика летом и очень мала зимой. В полном соответствии с теорией Шеннона делается вывод, что одно и то же сообщение летом содержит меньше информации, а зимой больше.

Поразительно, что многие воспринимают подобные вещи как нечто само собой разумеющееся. Им даже в голову не приходит, что коли так, то следует создавать не одну, а по меньшей мере две разные теории информации. Одну — зимнюю, другую — летнюю. Подобные рассуждения о температуре эквивалентны тому, как если бы мы считали, что гвоздь является гвоздем только для того, кому он нужен, а для того, кому он не нужен, он вовсе даже и не гвоздь.

Каждый последовательный физик понимает, что если результат измерения температуры несет какую-либо информацию, то количество этой информации зависит от того, насколько тщательно проведены измерения, от точности измерительного прибора, может быть, от других каких-либо условий, но ни в коем случае не от того, кто или что является получателем сообщения о величине температуры.

На этом неприятности не закончились. Мера Шеннона в принципе не накладывает ограничений на количество информации. Вероятность некоторого события может быть сколь угодно близка к единице, и, следовательно, количество информации по Шеннону может быть сколь угодно близко к нулю. Наоборот, вероятность некоторого события может быть сколь угодно близка к нулю, и, естественно, количество информации по Шеннону может быть сколь угодно близко к бесконечности. Но какое действие на реальную физическую систему произведет сообщение, содержащее исчезающе малое количество информации? Иметь дело с физическими величинами, способными обращаться в бесконечность, также крайне неудобно. Бесконечность делится на любое количество частей, и каждая из них все равно остается бесконечностью.

Примечательно, что с подобными трудностями столкнулся сам К. Шеннон. Попытавшись определить количество информации в непрерывно изменяющемся сигнале, он сразу получил бесконечность. А ведь непрерывно изменяющийся сигнал — это то, что передает в эфир любая радиостанция. Чтобы выйти из этого затрудне-

ния, К. Шеннону пришлось ввести в рассмотрение некоторую малую величину — квант количества информации.

С аналогичной задачей за сорок с лишним лет до К. Шеннона столкнулся Макс Планк. Он изучал ситуацию, в которой величина, в его случае энергия излучения нагретого тела, обращалась в бесконечность. В качестве математического аппарата для описания ситуации использовалась энтропия. В чем состоял выход, предложенный М. Планком? Не считать излучение непрерывным, а ввести в рассмотрение некую порцию — квант излучения, — тот самый квант, который затем лег в основу квантовой физики. Так стоило ли через сорок лет начинать все сначала?

Применительно к термодинамической энтропии трудами крупнейших физиков второй половины XIX века Р. Клаузиуса (1822—1888), Л. Больцмана и Дж. Гиббса (1839—1903) удалось сформулировать весьма общий закон природы, получивший название закона неубывания энтропии, или второго начала термодинамики. Согласно этому закону энтропия замкнутой физической системы может только либо оставаться постоянной, либо возрастать. Пожалуй, сейчас уместно еще раз предоставить слово Н. Винеру.

«Мы сказали, что количество информации, будучи отрицательным логарифмом величины, которую можно рассматривать как вероятность, по существу есть некоторая отрицательная энтропия. Интересно отметить, что эта величина в среднем имеет свойства, которые мы приписываем энтропии... Как и следовало ожидать, процессы, ведущие к потере информации, весьма сходны с процессами, ведущими к увеличению энтропии».

Н. Винер хотел сказать здесь, что с течением времени отдельные тексты могут повторяться все чаще и чаще, что сопровождается, очевидно, увеличением вероятности вхождения каждого символа. Другие тексты, наоборот, постепенно забываются (либо буквально, либо вследствие того, что в каналах связи действуют помехи, искажающие отдельные символы). Это снова приводит к изменению вероятности.

Никакое действие над сообщением не может при этом дать увеличения средней информации. Здесь мы имеем точное применение второго закона термодинами-

ки к технике связи. Наоборот, большее уточнение неопределенной ситуации дает в среднем увеличение информации и никогда не приводит к потере информации.

Ничто с такой убедительностью не заставляет нас поверить в справедливость некой научной гипотезы, как сознание, что где-то в другой отрасли науки подобное уже встречалось. Так произошло со знаменитой планетарной моделью атома Резерфорда, наибольшая привлекательность которой состояла в том, что она напоминала Солнечную систему. То же самое получилось и с энтропией. С тех пор как обнаружилось, что количество информации, приходящееся на один символ, по Шеннону, и энтропия термодинамической системы описываются одинаковыми математическими формулами, слово «энтропия» стало чуть ли не синонимом слова «информация». Иногда при этом говорили, правда, о негэнтропии, то есть об энтропии с обратным знаком.

Похоже, что мы чересчур углубились в серьезные материи. Пора дать читателю немножко отдохнуть, а заодно признаться в том, что наряду с рассказами об информатике, истории ее зарождения и современным состоянием мы хотели бы вспомнить несколько имен ученых, незаслуженно забытых. Приведем сейчас отрывок из статьи, написанной в свое время одним из авторов для журнала «Знание — сила».

ЛЕД НА ДНЕПРЕ

Осенью 1951 года автор этих строк отправился в командировку в Киев. Цель — принять работы, выполнявшиеся Институтом физики АН УССР. В кармане — весьма внушительный мандат, «тактико-технические требования, безапелляционно устанавливающие, какова должна быть амплитуда импульсов на выходе устройства, какими должны быть частота и форма этих импульсов и сколько часов должно работать устройство без единой неисправности или сбоя, и командировочное удостоверение, отводящее на все про все двое суток. Хоть у меня в те времена не было даже высшего образования, амбиция явно не соответствовала ни возрасту, ни положению. Явившись в институт, я немедленно потребовал (именно потребовал) себе рабочее место и комплект не-

обходимой аппаратуры и, уединившись в маленькой комнатке, начал добросовестно измерять амплитуды и частоты. Не знаю, как бы мне удалось справиться с пунктом ТТТ, устанавливающим количество часов бесперебойной работы — оно намного превышало время, отведенное на командировку, — но тут за моей спиной послышались шаги.

Обернувшись, я увидел высокого, очень стройного и очень элегантного человека. Левая рука на бедре придерживает полу расстегнутого пиджака, между пальцами дымящийся «Казбек». Правая рука в постоянном движении. Тонкие выразительные губы изогнуты легкой саркастической усмешкой. Чем-то он напоминал известную фотографию Оскара Уайльда, правда, без черной визитки, белых перчаток и брильянтовой булавки в галстуке.

— Молодой человек, — сказал он мне тоном, сразу открывающим опытного лектора, — очков мы не втираем. Давайте лучше сядем рядом, и я расскажу сам, что у нас получилось, а что нет.

Так состоялась наша первая встреча с Александром Александровичем Харкевичем. Вечером того же дня мы сидели за столиком в грязноватом зале ресторана «Театральный». Для меня до сих пор остается тайной, почему член-корреспондент АН УССР, профессор, руководитель отдела технической физики принял приглашение нахального мальчишки — инженера без высшего образования, но эту первую беседу я буду помнить всю жизнь.

Собственно, я не могу даже сказать сейчас, о чем мы тогда говорили. Разговор перескакивал с современных проблем физики полупроводников на стихи Теофиля Готье, с молодой, только рождающейся в те времена вычислительной техники на общие вопросы организации научных исследований. Ясно одно — после беседы с Александром Александровичем я понял совершенно отчетливо, что существует большая наука, что больше всего на свете мне хочется приобщиться к этой науке и что важнейший этап на пути к осуществлению этой мечты — осознать всю глубину собственного невежества. Улетая на другой день в Москву, я увозил с собой книжку английского писателя Найджела Белчина «В маленькой лаборатории». Давая мне эту книжку, Александр Александрович сказал, что, по его мнению, очень важно

научиться с пользой тратить время в поездах, самолетах и других видах транспорта.

В Киеве я начал бывать довольно часто. Помнится мне семинар в Институте физики. Полутемный зал, похожий на зал провинциального клуба. В зале серьезные «взрослые» люди. На эстраде — Александр Александрович, освещенный софитами. Сопровождая слова четкими движениями руки, держащей мел, Александр Александрович объясняет принцип действия авиационного радиовысотомера. В зале недоумение. Наконец кто-то очень солидный не выдерживает:

— Помилуйте, Александр Александрович, к чему это? Мы все прекрасно знаем принцип действия альтиметра с пилообразной частотной модуляцией!

— Ах знаете. Ну что ж, это значительно облегчает мою задачу. В таком случае возьмем преобразование Фурье от посылаемого и принимаемого сигналов.

Несколько секунд — и доска оказывается заполненной новыми выкладками.

— Теперь подсчитаем разностный спектр... Очевидно, что этот спектр есть тождественный нуль. Следовательно, разностного сигнала не существует, а следовательно, не существует и радиовысотомера, который мог бы работать по такому принципу.

— Но помилуйте...

Аудитория достаточно квалифицированная, и через несколько минут ни у кого не остается сомнений, что математика безупречна. Но ведь альтиметр-то существует уже несколько лет и честно работает почти на всех современных самолетах. Значит, здесь просто неприменимы методы спектрального анализа. Так рождалась новая теория, которая была затем изложена в монографии А. Харкевича «Спектры и анализ».

Еще один семинар, на сей раз в лаборатории. Небольшая комната набита битком. Многие стоят. Я позволяю себе высказать сомнение: сходится ли только что написанный Александром Александровичем интеграл? Все лица повернулись ко мне. Удивление, почти суеверный ужас, гнев. Чувство такое, что еще немного, и меня буквально вынесут на кулаках. Подумать только, усомнился в математической культуре шефа!

Очередная командировка в Киев. На этот раз срок командировки двадцать четыре часа «от подъезда до

подъезда моей организации». Цель — принять и привезти в Москву аппаратуру, созданную в лаборатории Александра Александровича. Ранним мартовским утром директорская «Победа» везет меня во Внуково. За ночь нападало много снега, и «Победа» летит как глиссер между снежными валами. Подъезжаем прямо к трапу. После короткого сна в воздухе снова «Победа», киевское такси. Коридор Института физики. Открываю одну знакомую дверь — пусто, открываю другую знакомую дверь — то же самое. До обратного самолета у меня несколько часов. Стараясь унять нервы, открываю теперь уже незнакомые двери — пусто. Наконец в конце коридора появляется старушка уборщица.

— Где люди-то, бабуся?

— Людей тебе, милок? А люди все на Днепр поехали, смотрят, как лед взрывают.

Опять такси. Я весь еще под впечатлением бешеной езды — полета по Внуковскому шоссе.

— Александр Александрович, ну как же так? Я же послал телеграмму!

И снова, как в нашу первую встречу, губы Александра Александровича изгибаются в ироническую улыбку.

Не знаю, что подумает, прочитав этот короткий эпизод, заместитель директора по кадрам одного из наших НИИ. Но как мало, как чудовищно мало среди наших инженеров, кандидатов и докторов технических наук людей, способных полчаса простоять на улице, наблюдая за работой нового снегоочистителя, людей, способных починить телевизор или транзисторный радиоприемник, людей, способных не только водить, но и исправить автомобиль.

Аппаратуру я привез вовремя, но она не была использована в окончательном варианте проекта. Скажу больше — она не отвечала пресловутым ТТТ. А вот метод записи нескольких дорожек на узкой магнитной ленте, предложенный тогда Александром Александровичем, используется сейчас не только в устройствах магнитной записи вычислительных машин, но и в любом магнитофоне. Широкое распространение, правда только в специальной аппаратуре, получила и магнитомодуляционная головка, позволяющая считывать информацию с медленно движущегося или даже неподвижного носителя.

Александр Александрович Харкевич родился 3 февраля 1904 года в Петербурге. Через годы и города пронес он облик истинного ленинградца: спокойствие, элегантность, тонкая ирония. В 1930 году Александр Александрович закончил Ленинградский электротехнический институт имени В. И. Ульянова (Ленина).

20-е и 30-е годы — время бурного развития радио. Активно действует в нашей стране Общество друзей радио. Повсюду можно встретить небольшие брошюрки с черной рамкой на обложке и буквами ОДР. К слову сказать, одна из таких брошюрок была написана инженером Лосевым, на два десятилетия предвосхитившим идею транзисторов.

Приемник может сделать каждый из любых подсобных материалов. Катушки мотаются «звонковым» проводом на картонных коробках из-под кофе. Если ты сторонник микроминиатюризации, можешь мотать катушку на спичечном коробке. Конденсаторы делаются из конфетных станиолевых оберток. Самая тонкая деталь — детектор — изготовляется в пробирке путем нагревания смеси свинца и серы. Несколько взрывов на кухне, обожженные пальцы, экскурсия на крышу для установки антенны, и границы мира для тебя больше не существуют. Ночи теперь проводятся только с наушниками на голове.

Сегодня невольно испытываешь сожаление — настолько наглядной была тогдашняя радиотехника. Святая святых — электронная лампа проглядывалась насквозь. Сквозь стекло, покрытое золотисто-черным налетом, можно было видеть все ее детали, а обладая известным воображением, даже электроны, летящие от вишнево-красной нити накала через сетку к аноду. У тогдашних радиолюбителей, проводивших ночи за отыскиванием чувствительной точки кристалла, вырабатывалась изумительная способность чувствовать новые идеи кончиками пальцев. А в идеях недостатка не было. Детекторные приемники, ламповые приемники, супергетеродины. Движущиеся модели, управляемые по радио. Громкоговорящий прием.

Нет ничего удивительного в том, что после поступления в институт в 1922 году Александру Александровичу стало тесно в учебных аудиториях. Уже в 1924 го-



ду он — монтер в аккумуляторной лаборатории, затем практикант, техник и руководитель работ на заводе. Учеба не заброшена, но одновременно с усвоением математики, физики, электротехники отрабатываются способности блестящего экспериментатора, уменье думать не только головой, но и руками. В эти годы у Александра Александровича выработалось поражавшее всех, кто его знал, умение мыслить геометрическими образами и, наоборот, видеть «вещное» в самых абстрактных математических и физических теориях.

Радиотехника тех лет не то чтобы проста, но уж очень лежала на поверхности. Отмотаешь виток — изменилась индуктивность катушки. Нужно увеличить емкость конденсатора — добавь еще полоску станиоля. Иное дело громкоговорители. Здесь приходится иметь дело не с «плоскими» схемами, а с трехмерным объемом воздуха, в котором распространяются звуковые волны. Объем воздуха взаимодействует с поверхностью рупора. Возникают сложные резонансные явления. Существовавшая в те времена теория могла дать только самое приближенное представление о процессах рождения и распространения звуковых колебаний.

И вот в 1928 году выходит в свет первая статья А. Харкевича «Экспериментальное исследование неко-

торых свойств репродукторов». Институт еще не закончен, но ученый уже родился. Всю свою дальнейшую жизнь Александр Александрович будет избегать легких путей и простых решений. Всегда самые актуальные вопросы и всегда немного впереди.

В 1938 году Александр Александрович доктор технических наук, профессор, крупнейший специалист в области теоретической и прикладной акустики. За первой статьей последовали «Опыт расчета рупорного электродинамического громкоговорителя» (1930), «К вопросу о новой системе электромагнитных громкоговорителей» (1932), монографии «Электроакустическая аппаратура» (1933), «Примеры технических расчетов в области акустики» (1938) и «Теория электроакустических аппаратов» (1940).

Но не надо думать, что все эти годы Александр Александрович интересовался только акустикой. Его вторая в жизни научная статья называется «О детектировании биений» (1930), а в 1931 году выходит работа «Электромеханические аналогии». Одним из замечательных качеств Александра Александровича как ученого была его способность видеть аналогии между самыми непохожими на первый взгляд явлениями природы. В 1952 году вышла его небольшая книжка «Автоколебания». В ней с единых позиций и без применения математики описывается, а точнее, объясняется работа поршневых двигателей, пневматических ударных инструментов, инерционного маятника часов, термопрерывателя, электронных параметрических генераторов и электронных генераторов сверхвысоких частот, исследуются явления автоколебаний резца токарного станка, явления флаттера и шимми у самолетов, образования звука гармонным язычком в органной трубе.

Нет, не зря любил Александр Александрович смотреть, как взрывают лед на Днепре, и ходил туда не только сам, но приглашал с собой весь свой отдел. А что касается токарного станка, то в кабинете ученого всегда стоял один, а подчас и два токарных станка. Работал на них Александр Александрович искусно и с увлечением.

Конечно, найдутся люди, которые будут говорить, что ученый «разбрасывался», что подобная широта ин-

тересов приводит к верхоглядству. Но в том-то и дело, что Александр Александрович совсем не разбрасывался. Он умел видеть то общее, что объединяет разнородные на первый взгляд явления. Работа поршневого двигателя, часов и лампового электронного генератора, а также многих других систем, как построенных искусственно, так и созданных самой природой, подчиняется четырем основным физическим принципам.

Во-первых, во всех этих системах совершается периодическое движение.

Во-вторых, для поддержания этого движения необходим приток энергии от внешних источников, причем энергия должна поступать к системе отдельными порциями в строго определенные моменты времени. Для этого на пути от источника энергии к системе ставится «заслонка», а чтобы «угадать» момент, когда нужно открыть заслонку, используется цепь обратной связи.

В-третьих, общее количество энергии, поступающей в систему, должно в точности равняться количеству энергии, затрачиваемому системой. В противном случае движение либо постепенно прекратится, либо размах колебаний будет безгранично увеличиваться. Порции поступающей энергии «отмеряются» нелинейными элементами.

Наконец, в-четвертых, энергию в систему можно подавать непосредственно либо каким-нибудь косвенным образом, например изменяя значения одного из параметров.

Книгу «Автоколебания» можно назвать одной из наиболее кибернетических из всех написанных к тому времени книг. В ней идет речь об управлении в чистом виде, четко и в то же время чрезвычайно наглядно вскрываются механизмы управления, и нет никакой беды в том, что ни слова не говорится о тех же процессах в живых организмах. На том уровне, на котором ведется рассмотрение, ничего нового это все равно не принесло бы.

В начале 50-х годов Александр Александрович переехал в Москву и, объединив несколько разрозненных групп, создал и возглавил Институт проблем передачи информации Академии наук СССР, ставший тем цент-

ром, где появились первые ростки современной информатики в нашей стране. Он возглавлял этот институт вплоть до своей безвременной кончины в 1965 году.

После А. А. Харкевича и до настоящего времени Институт проблем передачи информации возглавляет член-корреспондент АН СССР В. И. Сифоров. Под руководством Владимира Ивановича Сифорова нам также пришлось поработать в 1944 году, но знакомство, к сожалению, ограничилось несколькими короткими встречами.

А. А. Харкевича мы вспомнили главным образом потому, что он практически был первым, кто усомнился в правомочности отождествления шенноновской меры количества информации и термодинамической энтропии. В своей книге «Очерки общей теории связи», представляющей собой одно из наиболее совершенных изложений на русском языке основ того, что тогда называлось теорией информации, он прямо указывает, что для отождествления шенноновской меры с энтропией нет достаточных оснований. В дальнейшем подобный взгляд получил ряд подтверждений.

ЗАМКНУТЫЕ ТЕОРИИ

Вернемся снова к шенноновской теории. Мы и не заметили, как от рассмотрения совершенно конкретного понятия, а именно понятия количества информации перешли к более общим вопросам, связанным с возможностью применять ту или иную теорию в тех или иных обстоятельствах для описания тех или иных явлений. Подобные вопросы вообще характерны для современной науки. Лучший пример здесь — классическая, или ньютоновская, механика. В течение долгого времени она считалась образцом совершенной научной теории. Полагали, что все без исключения процессы в окружающем нас мире описываются в терминах ньютоновской механики и, зная начальные координаты и скорости всех объектов, составляющих Вселенную, с помощью уравнений ньютоновской механики можно предсказать состояние этих объектов, а значит, поведение всей Вселенной вперед на сколь угодно большой промежуток времени. Все это известно и несчетное ко-

личество раз повторялось как в научной, так и в научно-популярной литературе.

Общеизвестно также и другое. С появлением и утверждением теории относительности стало принятым мнение, что теория относительности дает более «правильное» описание мира, а ньютоновская механика представляет собой частный случай механики Эйнштейна, справедливый для случаев, когда скорости описываемых объектов во много раз меньше скорости света.

Однако первый удар механике Ньютона был нанесен задолго до появления теории относительности. Произошло это тогда, когда М. Фарадей высказал мысль о том, что существует группа явлений, для описания которых следует пользоваться понятием силового поля, отсутствующим в ньютоновской механике. После того как Дж. Максвелл облек идею Фарадея в строгую математическую форму, стало ясно, что ньютоновская механика не универсальна — существуют явления, которые описываются без ее привлечения.

Впоследствии некоторые естествоиспытатели и философы еще несколько десятилетий ожесточенно защищали позиции ньютоновской механики, опираясь на механическую модель эфира. Этот спор, как и многие другие мировоззренческие дискуссии, был даже перенесен на политическую арену. Но большинство физиков, опираясь на экспериментальные данные, признали правильными и специальную теорию относительности, и максвелловскую теорию. Ньютоновской теории отводилась роль хорошего приближения к правильной релятивистской механике.

Существует и иная точка зрения. Сторонник этой точки зрения немецкий ученый В. Гейзенберг — автор знаменитого соотношения неопределенностей. Предоставим ему слово:

«...Мы уже не говорим, что ньютоновская механика ложна и должна быть заменена правильной квантовой механикой. Скорее уж мы воспользуемся такой формулировкой: «Классическая механика является замкнутой научной теорией. Везде, где могут быть применены ее понятия, она дает в строгом смысле слова «правильное» описание природы». Мы, стало быть, и сегодня признаем истинность ньютоновской механики, даже ее строгость и общезначимость, но, добавляя, «везде, где

могут быть применены ее понятия», мы указываем, что считаем область применимости ньютоновской теории ограниченной. Понятие «замкнутая научная теория» возникло впервые в такой форме в квантовой механике. В современной физике мы знаем, по сути дела, четыре крупные дисциплины, которые можем в таком смысле назвать замкнутыми теориями: помимо ньютоновской механики, это теория Максвелла вместе со специальной теорией относительности, затем учение о теплоте — со статистической механикой, наконец (нерелятивистская) квантовая механика вместе с атомной физикой и химией. Теперь следует несколько уточнить, какие особенности характеризуют «замкнутую теорию» и в чем может заключаться истинность такой теории».

Далее В. Гейзенберг формулирует критерии, которым должна отвечать научная теория, чтобы считаться замкнутой.

Первым критерием замкнутой теории является ее внутренняя непротиворечивость. С помощью специальных определений и аксиом она должна допускать столь точное определение понятий, первоначально почерпнутых из опыта, и устанавливать между ними столь строгие отношения, чтобы им можно было сопоставить соответствующие математические символы, связанные системой непротиворечивых уравнений.

Вместе с тем замкнутая теория должна быть в известном смысле изобразительной. Другими словами, понятия теории должны что-то означать в мире явлений. По мнению В. Гейзенберга, проблемы, связанные с этим требованием, до сих пор не получили достаточного освещения.

Эта мысль стоит того, чтобы остановиться на ней более подробно. В современной науке принято считать, что некоторая теория создана, если найдены математические уравнения и если с помощью этих уравнений можно получить числа и зависимости между числами, совпадающие с опытными данными. Но чем дальше мы идем по этому пути, тем меньше нам удается определить, что означает переменные, входящие в уравнения. В наибольшей степени это характерно для современной квантовой физики.

Следуя В. Гейзенбергу, замкнутая теория справедлива на все времена. Везде и всегда, в сколь угодно

далеком будущем, если только опытные данные могут быть описаны в понятиях этой теории, ее законы окажутся правильными. Для ньютоновской физики исходными понятиями являются понятия массы, силы и ускорения. Соответственно для учения о теплоте, то есть термодинамики, исходными понятиями служат объем, давление, температура, энергия и энтропия.

Переход от одной замкнутой теории к другой, считает В. Гейзенберг, требует полного изменения структуры мышления тех, кто занимается развитием этих теорий. В частности, он отмечает, что даже А. Эйнштейн до конца своей жизни так и не смог признать правомерность вероятностных описаний и понятий, используемых в современной физике.

«Эйнштейн не хотел отвести столь принципиальную роль теории, имеющей статистический характер. Считая ее лучшим при данном состоянии знаний описанием атомных явлений, он все же не был готов принять ее в качестве окончательной формулировки законов природы. Фраза «но не думаете же вы, что Бог играет в кости» вновь и вновь произносилась им почти как упрек. По существу, различия между нашими двумя подходами лежали еще глубже. Эйнштейн в своих моделях физики всегда исходил из представления об объективном, существующем в пространстве и времени мире, который мы в качестве физиков наблюдаем, так сказать, лишь извне и движение которого определяется законами природы. В квантовой теории подобная идеализация уже невозможна; устанавливаемые ею законы природы говорят о временных изменениях возможного и вероятного; но условия, определяющие переход от возможности к факту, здесь не поддаются предсказанию: их можно зарегистрировать лишь статистически».

Ни в коей мере не претендуя на то, чтобы вмешаться в спор великих, мы позволим себе высказать собственное мнение и то лишь потому, что оно имеет непосредственное отношение к содержанию нашей книги. Речь пойдет вот о чем.

Описать некоторую физическую систему — что это означает с точки зрения ньютоновской физики? Это значит получить возможность для любого момента времени знать координаты и скорости составляющих сис-

тему компонентов. Говоря о координатах и скоростях, мы предполагаем существование не зависящих от описываемой системы пространства и времени. Согласно И. Ньютону, пространство (отсюда — координаты) и время есть та арена, на которой разыгрываются события во Вселенной.

Основным вкладом В. Гейзенберга в квантовую физику является его знаменитое соотношение неопределенностей, согласно которому мы не можем знать одновременно и точно и координаты и скорость объекта. В тех случаях, когда мы не можем знать что-то точно, современная наука предлагает нам единственный способ: описывать это «что-то» в терминах вероятностей. Попробуем рассуждать, следуя В. Гейзенбергу.

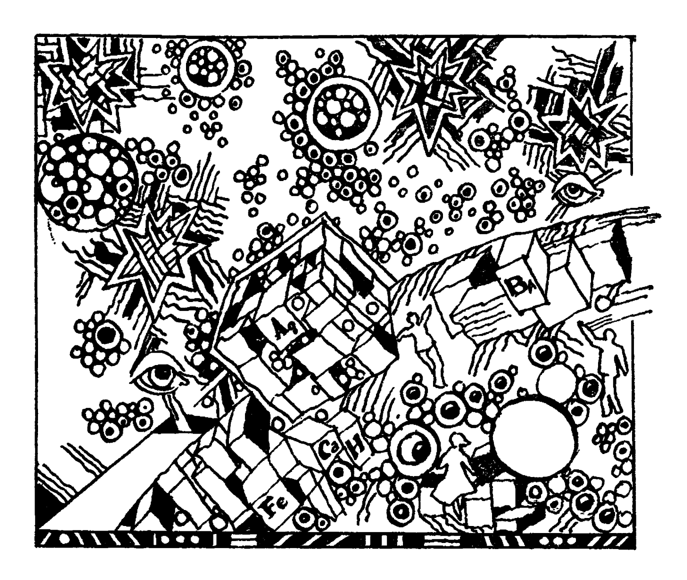
Согласно современным воззрениям (а это и есть та самая структура мышления, о которой говорит В. Гейзенберг) пространство и время не существуют независимо от материи. Наоборот, материальные объекты порождают пространство и время. Там, где нет материи, нет ни времени, ни пространства. Вот и получается заколдованный круг. Мы пытаемся описать поведение материальных объектов через то, что они порождают, что зависит от них самих.

Вместе с тем современная физика располагает рядом величин, таких, как электрический заряд, спин, лептонный заряд и тому подобное, которые могут быть известны совершенно точно и, следовательно, не требуют привлечения вероятностных подходов. Может быть, имеет смысл отказаться, естественно, там, где это существенно, от описания поведения объекта в терминах координат и скоростей?

Мы ни в коей мере не претендуем на высказывание каких-то советов физикам, и все сказанное имеет для нас отношение лишь к реальным возможностям получения информации о физических системах.

СУЩЕСТВУЕТ ЛИ КАМЕНЬ!

Несколько слов о термодинамике — еще одной замкнутой, согласно классификации Гейзенберга, науке. Объектами изучения термодинамики являются системы, состоящие из очень большого числа компонен-



тов: молекул или атомов. Мы уже говорили, что практически все законы термодинамики выводятся из двух основных: закона сохранения энергии и закона неубывания энтропии. Примечательнее всего то, что как при формулировке основных законов, так и при дальнейших выводах свойства самих компонентов системы, в данном случае молекул или атомов, практически не используются. Что требуется от молекул для того, чтобы состоящая из них система подчинялась законам термодинамики? Обладать некоторым запасом кинетической энергии и обмениваться этим запасом с другими молекулами в актах взаимодействия при условии, что сумма энергий всех молекул остается постоянной. Последнее условие и есть упомянутое условие того, чтобы система была замкнутой, то есть не обменивалась энергией с другими системами.

Такими же свойствами обладают не только системы, состоящие из молекул и атомов, но и великое множество других систем, в том числе и полностью абстрактных. Например, множество чисел, для которых мы ввели условие, что они могут меняться как угодно, лишь бы сумма оставалась постоянной.

Отсюда с неизбежностью следует вывод, что закон

неубывания энтропии — это не закон природы, а закон, описывающий поведение любой системы, в том числе и абстрактной, подчиняющейся только что сформулированному условию. Законом природы он становится тогда, когда имеются объекты, допускающие описание в понятиях термодинамики.

Законы термодинамики справедливы для песчинок, камней и целых планет. Но существует ли такой объект — камень? Наверное, для того чтобы ответить на этот вопрос, надо установить границы между тем, что мы считаем камнем, и тем, что мы камнем не считаем.

Вот это как раз невозможно. Камень и окружающий его воздух есть просто множество молекул; причем и в том и в другом случае расстояние если не между молекулами, то между ядрами атомов, из которых эти молекулы состоят, во много раз превышает размеры самих ядер.

Границы между камнем и не камнем есть результат некоторого вводимого нами условия. Отсюда вывод: камень — это не реальный физический объект, а понятие, которое мы условно вводим для того, чтобы получить возможность применять термодинамику. В этом нет ничего плохого или порочного. До тех пор пока нас интересует камень как таковой (то есть когда необходимые условия уже введены), мы можем знать с вполне достаточной для камня точностью все, что связано с его поведением. Но при этом не следует забывать о введенных условиях.

Все сказанное имеет прямое отношение и к закону неубывания энтропии. Этот закон далеко не так универсален, как представлялось тогда, когда на основании этого закона делались прогнозы о тепловой смерти Вселенной и неизбежного разрушения информации, то есть в конечном итоге гибели всего живого. Закон неубывания энтропии, безусловно, действует в рамках одной из научных дисциплин — термодинамики, которую благодаря В. Гейзенбергу мы считаем замкнутой дисциплиной, а следовательно, применимой к ограниченному кругу понятий. Закон неубывания энтропии не может быть применен к отдельным атомам и молекулам, которые обладают замечательным свойством сохранения своей структуры. Сколько ни разрушай молекулу воды, она восстанавливается, причем в точно

таком же виде, что и до разрушения. Вряд ли у кого-нибудь могут быть сомнения в том, что именно молекулы и атомы, а не песчинки, камни и планеты составляют основу всего сущего.

СВЯЗЬ ИЛИ ИНФОРМАЦИЯ?

Похоже, что мы снова отвлеклись от шенноновской теории. Нам давно пора вернуться к ней. Но прежде в порядке разминки или разрядки, как хотите, предоставим слово члену Национальной академии наук США Джону Р. Пирсу, известному своими работами по электронике сверхвысоких частот, радиолокации и связи:

«Насколько я могу судить, термины «общая теория связи» и «теория информации» являются синонимами. Я предпочитаю пользоваться первым термином, он мне кажется более определенным. Под тем или другим названием об общей теории связи было написано много всяких нелепостей, пожалуй, больше, чем о какой-либо иной технической области знаний после теории относительности и квантовой теории. Смысл слов «связь», «информация» и «теория» известен каждому. Услышав, что имеется теория о передаче любых сообщений, люди хотят как можно скорее применить эту теорию к решению своих проблем. А проблемы могут быть разные: в области философии, лингвистики, психиатрии, психологии, химии и физики. Применять всюду эту новую теорию, может быть, можно, а может, и нельзя».

Возможно, суждения Р. Пирса в чем-то чересчур резки, но и подобная резкость, и чрезмерные восторги, не раз высказывавшиеся по поводу шенноновской общей теории связи, имеют одну и ту же причину. Здесь постоянно делаются попытки перенести круг понятий одной замкнутой научной теории на другую — сделать то, от чего предостерегал В. Гейзенберг.

Шенноновская общая теория связи, к слову сказать, подобное название, за исключением слова «общая», было предложено самим К. Шенноном, в настоящее время представляет собой прекрасно разработанную и имеющую огромное количество практических применений теорию. Однако объектом приложения этой теории

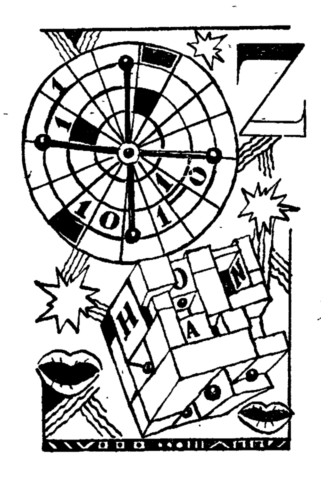
является отнюдь не информация, а каналы связи. Множество сигналов, распространяющихся в любом канале связи, будь то трансатлантический телеграфный кабель, телефонная или радиолиния, составляет статистический ансамбль, к которому применимы понятия статистической физики.

Задача, решаемая в рамках общей теории связи, всегда одна и та же: передать наибольшее количество сигналов с наименьшими затратами. В тех случаях, когда в канале связи присутствуют шумы, а присутствуют они всегда, решение подобной задачи часто приводит к поразительным результатам. В частности, удается выловить сигнал из смеси с шумами, во много раз превосходящими его по мощности. Но речь идет о сигналах, в частности об электрических токах и напряжениях, а не об информации.

Нам могут возразить, указывая на то, что средством общей теории связи решались такие задачи, как дешифровка закодированных текстов. Решались они именно потому, что с самого начала за основу принимался не смысл исходного сообщения, а известные статистические свойства языка, на котором это сообщение написано. Здесь полная аналогия с термодинамикой, где во внимание принимаются не свойства самих молекул и атомов, а лишь статистические свойства их множеств. Отсюда и знаменитое совпадение формализмов общей теории связи с формализмами термодинамики.

Введя несколько несущественных условий, мы действительно можем считать любой физический канал связи термодинамической системой со всеми вытекающими отсюда аналогиями. Мы можем считать даже шенноновскую общую теорию связи одним из разделов статистической физики. Но изучение свойств каналов связи ни в коей мере не означает одновременного изучения свойств информации, которая может передаваться по этому каналу, а может и не передаваться.

В заключение этой беседы мы вынуждены констатировать, что до сих пор мы не только не знаем, в каких единицах мерить количество информации, но и не знаем вообще, что такое информация.



Беседа третья
ВНУТРЕННИЙ ГОЛОС

МОНТЕ-КАРЛО

Человек, одержимый роковой страстью, как писали в старинных романах, а попросту говоря, азартный игрок прибыл в Монте-Карло. Не успев толком обосноваться в гостиничном номере, он устремился на улицу. Подошел к дверям игорного дома.

«Не сюда», — говорит ему внутренний голос.

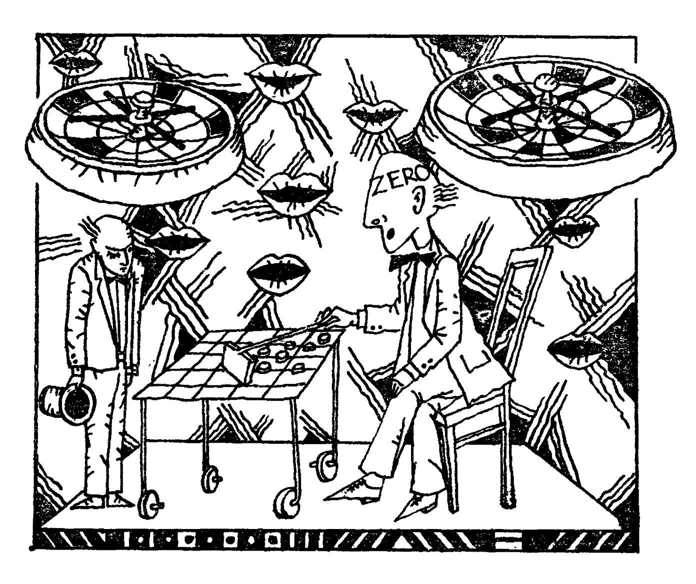
Второй и третий игорные дома также отвергаются. Наконец он вошел в помещение, где вокруг рулетки оживленная толпа. Собрался поставить на номер.

«Не этот», — говорит ему внутренний голос.

Еще одна попытка, еще и еще. В конце концов с молчаливого согласия внутреннего голоса игрок поставил всю свою наличность на некий номер, скажем девятнадцатый. Долго, как томительно долго мечется по столу шарик рулетки! Но всему наступает конец. Зеро! Никто не выиграл: все ставки забирает крупье.

«Вот черт! — сказал внутренний голос. — Кто бы мог подумать, что так получится?»

Ох уж эти внутренние голоса! Сколько больших и



малых огорчений принесли они тем, кто имел обыкновение к ним прислушиваться, не обязательно азартным игрокам. Голос, будь то внутренний или не внутренний, служит для передачи информации. Именно поэтому для беседы, посвященной информации, подобный зачин представляется нам вполне правомочным. Да и о внутренних голосах придется еще поговорить. Но со временем. Пока наша ближайшая цель — постараться понять, что же такое информация.

СРЕДИ АТОМОВ

20-е годы нашего века получили у физиков название эпохи бури и натиска — формировалась новая физика. Одно невероятное открытие следовало за другим. Молодой немецкий ученый Вольфганг Паули сформулировал принцип запрета, представляющий собой один из наиболее универсальных законов природы. Принцип В. Паули утверждает, что ни в какой физической системе, в частности в атоме, не может быть двух электронов, состояния которых характеризовались бы одинаковыми значениями четырех квантовых чисел.

Не станем говорить здесь о том, что такое квантовые числа и какие значения они принимают. Все это общеизвестно, так как изучается в школе. Для нас важно другое. Любой электрон, входящий в состав атома (ограничимся атомами), должен «знать», в каких состояниях находятся все остальные электроны этого атома. А как же иначе? Ведь только зная об этих состояниях, он может подчиняться принципу Паули.

Почему, начав беседу об информации, мы сразу окунулись в область квантовой физики — область, прямо скажем, не слишком наглядную? По той простой причине, что принцип Паули определяет структуру электронных оболочек атомов, стало быть, весь наблюдаемый нами, а заодно и ненаблюдаемый мир. Если бы принцип Паули когда-то нарушался, если бы из него допускались хоть малейшие исключения, мир был бы невообразимо иным. Но мир такой, каков он есть. Атом водорода — всегда атом водорода так же, как атом урана — всегда атом урана, и принцип Паули не допускает ни единого исключения.

Но коли так, то электрон действительно должен знать или, говоря точнее, иметь исчерпывающую информацию о состояниях других электронов в данном атоме и, выбирая собственное состояние, не повторять уже имеющиеся. Какой напрашивается самый простой вывод?

Существует некая физическая сущность, она и дает возможность электрону знать о состояниях других электронов.

Проявим, однако, осторожность. История науки учит нас, что без крайней необходимости не следует вводить какие-либо новые физические сущности. Много их было в свое время! И философский камень алхимиков, и теплород, и пресловутый эфир. А оказывается, что такой большой раздел физики, как термодинамика, — ее нам тоже не удалось обойти стороной на страницах наших бесед — может быть изложен исчерпывающим образом с привлечением только двух основных физических сущностей: энергии и энтропии.

Так не применяем ли мы слово «знает» к электрону в атоме в том же смысле, в каком можно сказать о

доске, что она «знает», что прибита к крышке стола? Знает и поэтому не покидает своего места?

Поразмыслив, мы придем к выводу, что аналогия с доской неправомочна. Доску удерживают на месте гвозди. Чтобы удалить доску, надо выдернуть гвозди. На это затрачивается определенное количество работы. Физики считают, что каждая доска в столешнице обладает некой отрицательной энергией, численно равной работе по вытаскиванию гвоздей. Здесь привлекается единственная физическая сущность — энергия. Для того чтобы объяснить, почему доска не покидает своего места, достаточно вычислить энергию.

Каждый электрон в атоме также обладает некоторой отрицательной энергией, численно равной работе, которую нужно затратить, чтобы удалить электрон из атома. Но у нас речь идет о другом. Если из атома любого вещества удалить электрон, образуется положительный ион. В положительном ионе количество электронов на единицу меньше, чем зарядовое число ядра. Каждый электрон в ионе находится в определенном состоянии, и все они, вместе взятые, подчиняются принципу Паули. В ионе опять-таки не бывает двух электронов, состояния которых характеризуются одинаковыми значениями четырех квантовых чисел.

Если где-то поблизости имеются электроны, ион способен захватить один из них и восстановить свою электронную структуру, превратившись в нейтральный атом. Захват ионом «чужого» электрона может не сопровождаться изменением состояния, а значит и энергии, ни одного из «своих» электронов.

То же самое справедливо для захваченного электрона. Все свойства, присущие электрону, находящемуся на свободе, сохраняются после того, как он входит в состав атома. В ионе ничего не изменилось, и в электроне ничего не изменилось. Тем не менее никогда ни при каких условиях электрон не примет состояния, уже занятого другими электронами. А коли так, нам не остается ничего другого, как утверждать, что электрон знает о состояниях всех электронов того же атома.

Поскольку атом — физическая система и в чудеса мы не верим, придется признать, что действительно существует некая физическая сущность, позволяющая электрону знать о состояниях других электронов и

управляющая структурой электронных оболочек атомов.

Мы утверждаем также, что эта физическая сущность отлична от энергии. Энергия подчиняется закону сохранения, и если бы получение электроном знания о состояниях других электронов сопровождалось затратой энергии, то изменились бы состояния других электронов, а этого может и не произойти.

Наконец, эта физическая сущность универсальна, поскольку сказанное справедливо для всех без исключения атомов.

Назовем эту сущность информацией.

ТАЙНЫ ЖИВОГО

Может быть, все, о чем говорилось, справедливо лишь для электронов в атомах? Это не так уж мало — весь окружающий нас мир состоит из атомов. Но только ли электроны обладают свойством знать или, как мы теперь скажем, располагать информацией о состояниях электронной структуры атома?

Мы уже говорили во второй беседе, что в последнее время стало обычным, хотя это совершенно неправильно, считать, что существуют как бы две физики. Одна — для привычного нам и воспринимаемого нашими органами чувств мира — ее называют классической физикой, а вторая — для мира атомов и молекул, или, иначе, микромира.

Мы привыкли, что в микромире могут происходить всяческие «чудеса», но поскольку прямо нас это не затрагивает: события микромира нашими органами чувств непосредственно не воспринимаются, — то и отношение к физике микромира довольно своеобразное. Верить-то мы, безусловно, верим, но не совсем понимаем, зачем нам все это нужно. Не относится ли информация к таким же микроявлениям?

Ну что ж, рассмотрим пример. Широко известны химические соединения, получившие название аминокислот. У каждой аминокислоты есть основная и боковая цепи, и отличаются различные аминокислоты именно боковыми цепями. Аминокислотам присвоены особые названия, например треонин, аланин, серин,

лизин, аспарагиновая кислота и т. п. Всего в природе 20 типов аминокислот, и у всех основная цепь одинаковая, а боковые цепи разные.

Аминокислоты обладают интересным свойством соединяться друг с другом, причем соединяться совершенно определенным образом с помощью пептидных (белковых) связей. Объединяются пептидными связями самые разные аминокислоты и в самых различных сочетаниях. Но поскольку пептидные связи образуются из «крайних» атомных групп, то получающиеся сложные молекулы похожи на нити. Такие нити называют полипептидами, от греческого слова «поли», что значит «много». Нити, состоящие из десятков и сотен аминокислот, образуют основу всех белков, а белки являются одним из четырех основных органических веществ живой материи (белки, нуклеиновые кислоты, углеводы, жиры).

Молекулы белков содержат сотни и тысячи атомов, поэтому их молекулярные веса измеряются десятками, сотнями тысяч и даже миллионами. Молекула белка представляет собой сложное и изящное архитектурное сооружение. Полипептидная нить еще не молекула белка, только скелет, первичная структура.

Полипептидные нити не натянуты, как струны, а скручиваются — чаще всего в спирали. Спирали удерживаются в скрученном состоянии с помощью дополнительных связей — сшивок. В белках много атомов водорода и кислорода, которые, взаимодействуя между собой, образуют водородные связи. Эти связи и «сшивают» молекулу полипептида в разных местах, придавая ей вид спирали. Спирали получили название вторичной структуры.

Это еще не все. Сшивки между полипептидными нитями образуются не только с помощью водородных связей, но и с помощью атомов серы, входящих в состав одной из аминокислот, — дисульфидные связи.

Хорошо знакомый нам белок инсулин — гормон поджелудочной железы животных и человека — состоит из двух полипептидных нитей. Одна из них содержит 21, а вторая 30 аминокислот. Эти нити связаны друг с другом дисульфидными связями, то есть сшивками между атомами серы.

Спирали из одной или нескольких полипептидных ни-



тей обладают удивительным свойством свертываться в клубки (глобулы) шарообразной или эллипсоидальной формы. Пространственно трехмерная форма белковых молекул называется третичной структурой белка.

Во многих музеях демонстрируются модели белковых молекул, составленные из проволочек и шариков. Они напоминают абстрактные скульптуры. Так или иначе, но и сама белковая молекула и ее модель представляет собой чрезвычайно сложное (сколько там атомов!) и подчас весьма изысканное сооружение. (Подобное сооружение со всеми его мельчайшими подробностями представляет собой молекулу конкретного белка. Даже если бы хоть одна аминокислота изменила пространственное расположение, получился бы совсем другой белок, с иными свойствами.

А теперь хотите узнать нечто любопытное? Полипептидные нити образуются из молекул отдельных аминокислот с помощью пептидных связей — это ясно. Но если составить раствор из аминокислот, взятых в любых пропорциях, никакого белка не получится. В растворе могут содержаться все 20 видов аминокислот или какая-то их часть, но такой раствор сколь

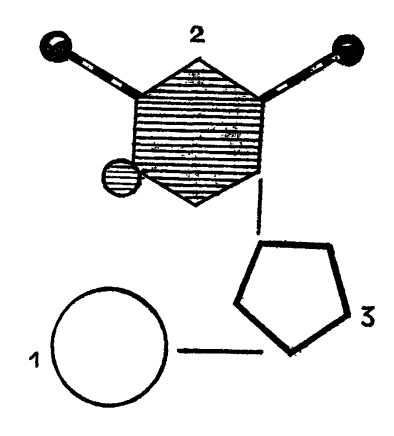


Рис. 1.

угодно долго остается просто раствором несоединившихся друг с другом аминокислот!

Поэтому наш рассказ должен быть продолжен.

ЧЕРТЕЖ ЖИЗНИ

Чтобы довести пример до конца, придется познакомиться еще с одной группой химических соединений — нуклеотидами. Молекулы нуклеотидов состоят из трех более мелких молекул: углевода (сахар), фосфорной кислоты и органического основания, прочно соединенных в единое целое. Структура молекулы нуклеотида показана на рисунке 1. Здесь 1 — фосфорная кислота, 2 — сахар, 3 — органическое основание. Черточки обозначают химические связи, соединяющие отдельные части молекулы.

Нуклеотиды различают по составу сахара и органических оснований. Химики условились разделять нуклеотиды (их называют также нуклеиновыми кислотами) на две группы по виду содержащегося в них сахара. Первая группа получила название рибонуклеиновой кислоты (РНК). В состав РНК входит пятиуглеродный сахар — рибоза. Вторая группа — дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК). В состав ДНК входит

другой сахар — дезоксирибоза. Это тоже пятиуглеродный сахар, но содержащий на один атом кислорода меньше по сравнению с рибозой.

Нуклеотиды различают также по виду органических оснований. Всего имеется пять разновидностей органических оснований и соответственно пять разновидностей нуклеотидов. В состав ДНК входят четыре основания: аденин (А), гуанин (Г), тимин (Т), цитозин (Ц). В состав РНК могут входить аденин (А), гуанин (Г), урацил (У), цитозин (Ц). Таким образом, кроме вида сахара, ДНК отличается от РНК еще и тем, что ДНК содержит в своем составе тимин и не содержит урацила, а РНК, наоборот, содержит урацил и не содержит тимина.

Как и аминокислоты, нуклеотиды способны соединяться между собой и образовывать полинуклеотидные нити. Такие нити бывают очень длинными. У мелких вирусов длина нити молекулы составляет от 0,0016 до 0,052 мм. На первый взгляд, это не много. Но вспомните размер атома. Он имеет порядок 10^{-7} мм, а это значит, что вдоль одной полинуклеотидной нити укладывается от 16 тысяч до 52 тысяч атомов. Длина молекулы ДНК дрожжей составляет 6,12 мм. Длина нитей ДНК человека достигает двух метров.

Важной характеристикой молекулы ДНК является количество содержащихся в ней органических оснований. ДНК бактерии кишечной палочки содержит около 20 миллионов оснований. В ДНК всех 46 хромосом клетки человека содержится около 9 миллиардов органических оснований, (Не забудьте это число, оно нам еще понадобится.) Молекулы ДНК и РНК обладают способностью свертываться в спираль, иначе говоря, обладают вторичной структурой.

К раствору несоединившихся аминокислот добавьте теперь раствор, содержащий молекулы РНК. При определенных условиях в таком растворе немедленно начнется образование молекул белка. Молекулы аминокислот станут соединяться между собой, образуя сначала пептидные связи, а затем сшивки. Вид образующегося белка определяется видом РНК. Каждая молекула РНК вызывает образование совершенно конкретного белка со всеми его подробностями.

Попробуйте представить себе, что происходит. На-

пример, белок вируса болезни растений табака — табачной мозаики — содержит 2130 белковых субъединиц. Каждая из них, в свою очередь, состоит из 158 аминокислот. Если в раствор, содержащий аминокислоты, добавить соответствующую РНК, всегда будет образовываться именно данный белок. В общей структуре белковой молекулы каждая аминокислота займет строго определенное место. Никогда, ни одного исключения из этого правила!

Понять, как это происходит, можно, если из того, что получилось в нашем растворе, обратно выделить молекулы РНК. Сегодня ученые довольно просто выполняют подобную операцию с помощью ультрацентрифуг. Поскольку это очень важно, давайте еще раз проследим последовательность событий.

Начинается все с раствора аминокислот. Если в растворе только аминокислоты, то в полипептидные цепи они не соединяются. Добавляете в раствор молекулы РНК — и в нем начинается образование белка. В примере с РНК вируса табачной мозаики белок как бы обволакивает молекулы РНК. Молекула РНК в белковом чехле представляет собой вирус. Таким вирусом можно заразить растение, и оно заболеет.

Следующий шаг: помещаете созданные вирусы в центрифугу. Под действием ускорений вещество разделяется по меньшей мере на две фракции. В первой содержится белок, а во второй — РНК. Если подробно проанализировать эти фракции, то окажется, что и белок сохранил свои свойства, и молекулы РНК сохранили все свойства: они имеют тот же состав, ту же структуру и, помещенные снова в раствор аминокислот, немедленно начнут строить новый белок.

Оттого, что молекула РНК приняла участие в образовании, или синтезе, белка, с ней ровным счетом ничего не произошло. Извлеченная из белка, она сохранила свои свойства. Но что же тогда послужило причиной начавшегося процесса синтеза белковых молекул?

Снова не остается ничего другого, как сказать, что причиной явилась некая физическая сущность. Именно физическая, поскольку процесс объединения аминокислот в полипептидную цепь — это объективный физический процесс, сопровождающийся, кстати говоря, изменениями структуры, изменениями энергетических состо-

яний атомов и молекул. Эта физическая сущность передается в раствор и исходит от молекул РНК. Теперь мы точно это знаем, потому что никаким иным способом, кроме добавления в раствор аминокислот молекул РНК, нельзя запустить процесс синтеза белка.

Приняв участие в процессе синтеза, молекула РНК ни в чем не изменилась и может участвовать в подобных процессах любое количество раз. Да, приходится констатировать аналогию только что рассмотренного примера с предыдущим и назвать эту физическую сущность информацией. У нас имеются все основания считать молекулу РНК чертежом белковой молекулы.

ЧТО ОНА МОЖЕТ?

Каковы основные свойства физической сущности, названной нами информацией? Первое — способность управлять построением физических структур. Рискуя злоупотребить вниманием читателей, мы потратили много усилий, пытаясь сделать предельно ясной одну мысль. Свойство информации управлять построением структур есть универсальное свойство, присущее всем без исключения физическим объектам, начиная с электрона и кончая живыми организмами. Некоторым запасом информации в числе прочих свойств обладает любой физический объект.

Электрон, скажем точнее, классический электрон, находящийся в покое и ни с чем не взаимодействующий, обладает энергией-массой и электрическим зарядом. С точки зрения этих двух характеристик все электроны абсолютно подобны друг другу. В свое время было поставлено несчетное количество опытов, чтобы выяснить, а не отличаются ли друг от друга заряды электронов хоть на самую малость? Вывод однозначный: у всех электронов заряд одинаковый. Заряд электрона — одна из наиболее фундаментальных физических констант. Он не изменяется даже при скоростях, приближающихся к скорости света, когда меняется очень многое.

Постоянство заряда электрона — интересное и далеко не очевидное свойство нашей Вселенной. Мы принимаем его как должное, но если задуматься, а глав-

ное, опереться на наш повседневный опыт, то естественнее было бы предположить, что заряды, да и другие свойства физических объектов, должны хоть немного, но отличаться друг от друга. Но сейчас уже нет оснований делать на этот счет какие-либо предположения, поскольку постоянство заряда электрона — научно доказанный факт. Более того, в точности таким же зарядом обладают все отрицательно заряженные элементарные частицы (кроме кварков, если таковые действительно существуют): отрицательные мюоны, пи-мезоны, гипероны и тому подобные. Другая группа частиц, представителем которой является протон, обладает таким же по величине, но противоположным по знаку электрическим зарядом. Подобные факты наводят на мысль, что Вселенная строилась и продолжает строиться по чертежам. Развивать эту мысль мы здесь не станем, она легко уведет нас в область чистой фантазии.

Вернемся к электронам. Вторым достаточно постоянным свойством электрона является его масса-энергия покоя. Вообще говоря, масса-энергия электрона изменяется в весьма больших пределах, но ни при каких условиях не может стать меньше некоторой постоянной величины, называемой массой покоя. Эта величина одинакова для всех электронов.

Совсем недавно, каких-нибудь пятьдесят лет тому назад, перечисление свойств электрона на этом бы закончилось. Все электроны во Вселенной представлялись в точности подобными друг другу. Но любой электрон обладает еще третьим свойством: собственным моментом количества движения, или, короче, спином. Абсолютная величина спина у всех электронов во Вселенной опять-таки одинаковая, но спин — вектор, он имеет не только абсолютную величину, но и направление. Направления спинов у разных электронов различны. Получается, что каждый электрон несет определенную информацию о самом себе. Эта информация складывается из значений заряда и массы, которые, взятые в совокупности, позволяют отличить электрон от неэлектрона, а также из направления спина, характерного для данного электрона среди других электронов.

Речь идет о классическом электроне. С позиций квантовой физики электрон вообще лишен индивидуальности: про электрон нельзя говорить «тот», «этот»,

«данный». Надо высказываться осторожно, например так: если вообще есть какие-либо причины выделять некоторый электрон среди других, то основанием к этому может служить направление его спина.

Сказанное поясним примером. Имеется ион атома гелия, то есть ядро гелия, несущее положительный электрический заряд, равный двум единицам, и связанный с этим ядром единственный электрон. Если наш ион находится в окружении свободных электронов, то почти наверняка он захватит один из них и превратится в нейтральный атом гелия. С той же степенью уверенности можно утверждать, что электрон не будет захвачен, если направление его спина совпадает с направлением спина электрона, уже связанного с ядром.

Так проявляется в данном случае принцип Паули, и так информация (некая физическая величина), которой располагает электрон, управляет построением структуры, которую называют атомом гелия.

Другим примером процесса создания структуры под воздействием информации является изготовление сдобной булочки на основе кулинарного рецепта.

Построение атома гелия, испечение сдобной булочки, застройка по архитектурному проекту городского района или целого города — в основе своей одинаковые процессы, отличающиеся лишь количественно.

Кстати, утверждение о количественном различии не совсем обоснованно. Ведь только с позиций сегодняшних знаний мы считаем электрон чем-то достаточно элементарным.

Итак, одним из свойств информации является способность управлять построением структур. Но это далеко не единственное ее свойство.

Второе свойство информации — сохраняться в течение любых промежутков времени. Молекула РНК хранит в себе некий чертеж, который может представлять собой чертеж простейшего организма — вируса или чертеж столь сложной системы, как человеческий организм.

Данные науки показывают, что нет оснований устанавливать пределы для сроков хранения информации молекулами РНК. Под воздействием высокой температуры, жесткого излучения и других внешних факторов молекула РНК может частично или полностью разру-

шиться. Однако, несмотря на сложность, она весьма стабильна и в широком диапазоне изменения внешних условий сохраняется сколь угодно долго. Это справедливо для молекул, состоящих из миллионов, а подчас и миллиардов нуклеотидов. Что касается более «простых» вещей, таких, например, как молекула воды, то она остается неизменной в течение всего времени существования Вселенной.

Слово «простых» мы не случайно взяли в кавычки. На первый взгляд молекула воды всего-навсего соединенные вместе атом кислорода и два атома водорода. Но есть у нее значительная подробность. Водородные атомы расположены в пространстве под определенным углом, и этот угол одинаков для всех без исключения молекул воды. Так что информация, которую хранит в себе вода, определяется не только составом молекулы, но и величиной угла, под которым расположены водородные атомы.

Третье свойство информации противоположно второму. Это свойство изменяться во времени. Возможно как разрушение, так и совершенствование информации. Приведем такой пример. Общепринято считать, что основным переломным моментом в процессе превращения обезьяны в человека был момент, когда обезьяна взяла палку, то есть научилась пользоваться орудиями труда. Повторяя на разные лады эту общеизвестную истину, обычно мало уделяют внимания слову «научилась». Палку обезьяна могла взять случайно и тут же забыть о достигнутом результате этого действия. Более того, медведицу можно научить кататься на коньках или ездить на мотоцикле, но это умение ни в коем случае не передается по наследству ее медвежатам. Важнейшую роль в процессе очеловечивания обезьяны сыграло то обстоятельство, что, взяв палку, она оказалась в состоянии запомнить, что из этого получилось, и передать это знание потомству.

На молекулярном уровне наблюдается то же самое. Полипептидные нити — белковые молекулы — строятся из отдельных аминокислот под управлением информации, записаной в РНК. Несколько иначе все обстоит с более сложными образованиями — белковыми субъединицами или, короче, блоками. Например, белки некоторых крабов и улиток построены из большого числа

блоков — от 24 до 384, поэтому их молекулярный вес крайне велик: от 422 тысяч до 6 миллионов 700 тысяч. Молекула белка одного вида улитки с молекулярным весом 574 тысячи при подщелачивании раствора распадается сперва на половинки, затем на восьмушки, а затем на шестнадцатые доли, то есть на составляющие ее блоки. Если такой раствор подкислить, распавшиеся было субъединицы вновь собираются в единое целое.

Нет никаких ограничений, которые запрещали бы двум любым аминокислотам соединиться друг с другом, образовав дипептид. Ничто не запрещает дипептидам присоединить к себе третью аминокислоту, образовав трипептид, и так далее. А при наличии молекулы РНК в растворе аминокислот синтезируется строго определенный белок, строго определенная последовательность аминокислот. Молекулы белка, синтезированные с помощью данной молекулы РНК, неотличимы друг от друга как две молекулы воды или два электрона. Это замечательное, трудно представимое свойство природы.

При случайном объединении аминокислот всякий раз создается нечто новое. Получаются и сложные полипептиды, но точно так же, как ничто (в смысле физических законов) не запрещает им создаваться, ничто не запрещает им распадаться на более мелкие части. Различные полипептиды обладают разной степенью устойчивости в одинаковой среде. Намечается путь от случайного образования полипептидов к последующему их отбору по признаку устойчивости (выживание) и затем к воспроизведению (размножение) более устойчивых форм.

Большинство ученых склоняются к мнению, что именно таким был процесс зарождения жизни на Земле. Что касается нас, то мы усматриваем в основе этого пути процесс накопления информации.

Четвертое свойство информации — ее способность переходить из пассивной формы (она просто хранится и никак себя не проявляет) в активную, когда информация непосредственно участвует в процессе построения той или иной структуры. Обратное этому свойство — процесс запоминания, или записи, информации, то есть перевода ее из активной формы в пассивную. Примером

может служить все тот же процесс синтеза белка с помощью информации, записанной на молекуле РНК.

Когда на страницах этой книги впервые описывался подобный процесс, мы ограничились туманной фразой о том, что, мол, синтез белка начинается при определенных условиях. Мы поступили так, чтобы сразу не усложнять и без того сложное описание. Настала пора сказать, что эти условия более чем определенные. Молекула РНК сколь угодно долго пребывает в растворе аминокислот, и при этом ничего не происходит, если в том же растворе не присутствуют химические соединения, называемые ферментами. Причем для каждой молекулы РНК и соответственно для данного вида белка требуются совершенно определенные ферменты.

Откуда берется фермент? Он вносится в раствор извне или синтезируется в том же растворе из тех же аминокислот на основании информации, записанной на молекуле РНК. При этом большая часть молекулы РНК содержит информацию, используемую при синтезе конечного продукта — белка. Эта информация активизируется лишь под действием фермента. Другая часть молекулы РНК (меньшая) содержит информацию, используемую для синтеза фермента.

На самом деле все происходит гораздо сложнее — мы дали весьма примитивное описание. Однако его довольно, чтобы установить: командой, переводящей информацию из пассивной формы в активную, является та же информация.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЗАГАДКИ

Пятое свойство информации — способность быть переданной на расстояние. Это свойство непосредственно следует из свойства информации сохраняться. Действительно, если информация записана на молекуле РНК, на электроне или на любом другом носителе, то перемещение носителя повлечет за собой перемещение записанной на нем информации.

Наконец, шестое свойство — свойство информации подвергаться переработке. Поясним это свойство на примере молекулы РНК. Молекула РНК представляет собой последовательность нуклеотидов, связанных друг с другом так, что они образуют длинную нить. В слу-

чае РНК в построении участвуют четыре типа нуклеотидов: аденин, гуанин, урацил, цитозин (для сокращения этих названий мы использовали большие буквы, так же поступим в дальнейшем). Каждая молекула РНК отличается от аналогичных молекул количеством и порядком расположения нуклеотидов.

Число различных молекул РНК чрезвычайно велико. Нить, составленная из четырех нуклеотидов, может быть построена 256 способами. Нить из ста нуклеотидов может быть образована 4^{100} способами. Это настолько огромное число (порядка единицы с двадцатью пятью нулями), что нет смысла вычислять здесь его точное значение. Что же говорить о молекуле РНК столь простого организма, как кишечная палочка, которая состоит из двадцати миллионов нуклеотидов?

Количество способов, которыми из заданного количества аминокислот можно построить пептидную нить, или молекулу белка, во много раз больше, поскольку больше типов аминокислот — их двадцать. Трудно удержаться, чтобы в очередной раз не выразить удивления природой, умеющей, пользуясь молекулами РНК, синтезировать совершенно определенный вид белка из бесчисленного количества возможностей.

Как на самом деле происходит процесс синтеза? Представьте себе нить РНК, которая состоит из такой последовательности: А—У—Г—Ц—А—У—У—А—Г——Ц—У—А..., и пептидную нить, также представляющую собой последовательность, но не нуклеотидов, а аминокислот. Каким образом осуществить синтез пептидной нити, то есть заданной последовательности аминокислот, на основании имеющейся последовательности нуклеотидов?

Казалось бы, очень просто. Каждому нуклеотиду нужно ставить в соответствие какую-нибудь аминокислоту. Там, где в цепочке РНК расположен, к примеру, аденин, в пептидной цепи ставить треанин, там, где в цепочке РНК находится гуанин, в пептидную цепь ставить аланин и т. д. Но не тут-то было! Нуклеотидов насчитывается всего четыре типа. Следуя предложенному правилу, можно выбирать лишь четыре типа аминокислот. А различных аминокислот — двадцать, и все они нужны для построения белков. Как выходит природа из подобного затруднительного положения?

Для выбора одной аминокислоты используется не один нуклеотид, а последовательность, состоящая из трех соединенных друг с другом нуклеотидов. Например, три соединенных между собой одинаковых нуклеотида УУУ — подобные тройки называют триплетами — выбирают аминокислоту фенилаланин. Триплет АУГ используется для выбора аминокислоты метионина, триплет ГУУ — валина и т. д.

Задача эта совсем не простая. Каким механизмом пользуется природа, чтобы, располагая одним триплетом, выбрать требуемую молекулу из смеси двадцати видов аминокислот. Что получается? Вроде бы что-то где-то должно помнить таблицу соответствий триплетов аминокислотам, то есть своеобразный словарь. Каким образом составлять триплеты? Можно образовывать триплеты, начиная с первой буквы (то бишь с первого нуклеотида), например, так: АУГ ЦАУ УАГ ЦУА. Но можно иначе: АУГ ГЦА АУУ УАГ и т. д. Да и сам выбор первого нуклеотида снова сложная задача. Реальная, даже относительно простая молекула РНК может содержать сотни тысяч нуклеотидов и так быть закручена в спираль, что где начало, где конец, разобраться весьма и весьма трудно.

Природа разгадывает все эти загадки, причем безошибочно.

Боясь надоесть читателю, все же повторим: данная молекула РНК управляет синтезом конкретного белка, выбранного из бесчисленного множества, всегда без сбоев и ошибок.

Мы еще вернемся к этому и рассмотрим, как решаются подобные задачи не только природой, но и в искусственно создаваемых человеком системах. Пока ограничимся одним-единственным выводом: информацию можно перерабатывать. Способность подвергаться переработке — одно из важнейших свойств информации.

СКОЛЬКО ИНФОРМАЦИИ?

Читатель, хотя бы поверхностно знакомый с литературой по теории информации, давно понял, что в этой беседе мы избрали, прямо скажем, нетрадиционный путь изложения. Сделали мы это сознательно, стремясь

подчеркнуть ту мысль, что информация — это физическая величина и в той же степени, как энергия, присуща всем без исключения формам существования материи.

Если информация — физическая величина и если мы хотим тем или иным способом создать теорию, которая позволяла бы описывать информационные процессы и предсказывать следствия этих процессов на основании знания причин, то необходимо сделать информацию измеримой величиной. Надо ввести единицу измерения и предложить метод измерения количества информации.

Впервые такую меру предложил в 1928 году американский ученый Р. Хартли. Как рассуждал Хартли? Если перевести его рассуждения (они относились к каналам связи) на уже знакомый нам язык биологии, то это выглядит примерно так. Одно звено цепи нуклеотидов представляет собой либо аденин, либо гуанин, либо урацил, либо цитазин, то есть результат выбора одной из четырех возможностей. Считаем, что «информационная сила» такого звена равна четырем.

Подобное рассуждение вполне правомочно. Действительно, если бы отдельному звену нити РНК можно было бы ставить в соответствие одну аминокислоту, такое звено оказывалось бы способным выбирать одну из четырех аминокислот.

Дальнейший ход рассуждений наталкивается на небольшую трудность. Два звена нити РНК могут присутствовать в 16 различных сочетаниях. Их легко перечислить: четыре начинаются с А, четыре начинаются с Г, четыре начинаются с У и четыре начинаются с Ц. Казалось бы, ничего страшного. Информационная сила для двух звеньев и впрямь равна 16, поскольку два звена позволяют осуществить выбор одной из шестнадцати аминокислот — по одной для каждого из перечисленных сочетаний. Но уж очень все необычно.

С школьной скамьи мы привыкаем, что если одна гиря имеет массу четыре килограмма и другая тоже имеет массу четыре килограмма, две эти гири, взятые вместе, имеют массу восемь килограммов. Восемь, а не шестнадцать. Результаты измерения однородных физических величин, как правило, складываются, если сами величины прибавляются друг к другу. На научном язы-

ке такое свойство физических величин называется аддитивностью.

Чтобы удовлетворить требованию к аддитивности меры количества информации, Р. Хартли предложил выбирать в качестве такой меры не саму информационную силу, а ее двоичный логарифм. В этом случае все становится на свои места. Одно звено нити РНК позволяет осуществлять выбор из четырех возможностей, и присущее ему количество информации равно двоичному логарифму четырех, то есть двум. Два звена позволяют осуществить выбор одной из шестнадцати возможностей, а двоичный логарифм шестнадцати равен четырем. Продолжая в том же духе, увидим, что три звена нити РНК позволяют осуществить выбор одной из шестидесяти четырех возможностей, а двоичный логарифм шестидесяти четырех равен шести. Заодно мы получили некоторую идею о том, почему природа избрала именно триплеты нуклеотидов для выбора одной среди двадцати типов аминокислот.

ПЕРЕСЧИТАТЬ МГНОВЕНИЯ

Измерить количество информации по Хартли — это значит пересчитать количество возможностей, одна из которых реализуется в данный момент, и затем взять логарифм от этого количества. В случае молекул сделать это не сложно — молекулы состоят из отдельных атомов, и атомы в конечном итоге можно пересчитать. А как быть в тех случаях, когда носителем информации является непрерывно изменяющаяся физическая величина? Наилучшим примером здесь, пожалуй, будет музыка.

Любое музыкальное произведение можно записать на специально разлинованной бумаге с помощью нотных значков. Количество нотных значков можно пересчитать. Более того, можно определить вероятности, с которыми встречаются та или иная нота, то или иное сочетание нот (аккорд), и применить к нотной записи не только меру Хартли, но и меру Шеннона. Однако одно и то же произведение можно сыграть по-разному. Пусть это будет мазурка Шопена.

Под пальцами талантливого пианиста она звучит



волшебно, но если эту же мазурку сыграет новичок или человек, лишенный чувства музыки, то слушать ее будет невыносимо. А ведь и тот и другой играют по нотам, то есть нажимают нужные клавиши в том же порядке. Оказывается, и по клавише можно ударить поразному. Тончайшие оттенки отличают игру мастера от игры дилетанта. Конечно, многое зависит от качества инструмента.

В этой связи нам вспоминается эпизод, относящийся к 1946 году. Это было прекрасное время. Мы работали тогда во Всесоюзном научно-исследовательском институте звукозаписи, располагавшемся на улице Качалова в помещении Всесоюзного дома звукозаписи. Дом звукозаписи был построен в 30-х годах нашего века по замыслу профессора И. Е. Горона. Это уникальное сооружение, в основу проекта которого положена максимальная защита от проникновения внутрь помещений уличных шумов. Видимо, вследствие мер по такой защите восьмиэтажный дом ощутимо покачивался даже тогда, когда мимо по улице проезжал грузовик, и непривычному человеку находиться в одной из комнат верхних этажей (а наша лаборатория помещалась на седьмом этаже) было жутковато. Но цель была достигнута.

В помещениях студий, а самая большая из них, так называемая студия А, вмещала весь ансамбль песни и пляски Советской Армии, царила поистине абсолютная тишина. Во всяком случае, так нам казалось.

Мы уже сказали, что это было прекрасное время. Никто не торопился вечером уходить с работы. Как правило, в девять, а то и в десять часов вечера большинство окон института светилось. Это отнюдь не было особенностью нашего института. Таков был общий настрой тех времен, и объяснялся он, по всей вероятности, тем, что каждый раз, уходя с работы, ты чувствовал себя ощутимо богаче — знаниями, свершениями, наконец, просто впечатлениями, — чем утром того же дня. А настоящее счастье дает, наверное, только сознание сделанного дела.

Да простит нам читатель это короткое отступление. Оно понадобилось для того, чтобы перейти к интересующему нас эпизоду. Дело было так. Вместе с Л. А. Кораблевым, который в дальнейшем приобрел известность благодаря своим работам по созданию уникальной аппаратуры для регистрации космических частиц, мы задались целью сделать тракт как можно более высокого качества. Тракт — это система, состоящая из микрофонов, усилительной аппаратуры и громкоговорителей или, пользуясь жаргоном специалистов, динамиков. Собственно, микрофоны нам конструировать не пришлось — они уже существовали и были установлены в студии А, причем установлены некоторым наилучшим образом, о чем в свое время позаботились акустики.

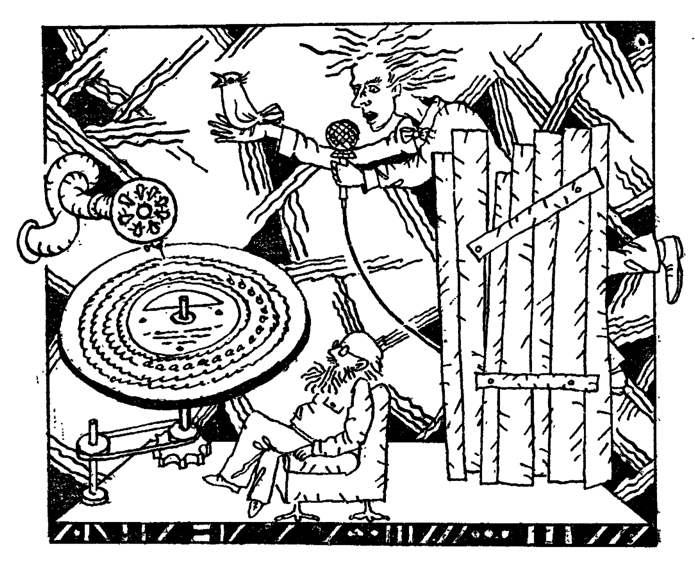
Наша задача состояла в том, чтобы построить усилительную аппаратуру и как можно точнее согласовать ее характеристики с характеристиками имевшихся в нашем распоряжении динамиков. Это не было служебным заданием, просто мы хотели определить предельные возможности радиоэлектронной усилительной аппаратуры. Занимались мы этим в нерабочее время, провозились несколько месяцев, и наконец наступила вожделенная пора испытаний. Мы подсоединили наши усилители к микрофонам, расположенным в студии. Днем, когда из студии шли передачи или в ней проводились репетиции, мы могли слышать все, что там происходило. По вечерам студия пустовала, но тем не менее мы включали аппаратуру, чтобы узнать, не вносит ли она

посторонних шумов. К слову сказать, отсутствие посторонних шумов — один из основных показателей качества усилительного тракта.

Шумов нам обнаружить не удалось. Занимались мы совсем другими делами, но по традиции аппаратура включалась каждый вечер. Однажды к нам зашел посоветоваться, а скорее просто поболтать сотрудник соседней лаборатории. Какое-то время мы беседовали с ним, а потом, сейчас уже не вспомнить почему, мы вышли из комнаты, оставив его в одиночестве. Вернулись минут через пять, но застали нашего приятеля не в комнате, а в коридоре. Вид у него был, прямо сказать, неважный. Он признался, что стоило нам выйти из комнаты, как его охватило чувство страха, которое все усиливалось, и в конце концов он не выдержал и выскочил в коридор. В коридоре это чувство сразу прошло.

Мы отнесли это явление за счет оригинальных свойств психики нашего товарища, но все же решили поэкспериментировать. К величайшему удивлению, то же самое повторилось и с другим, и с третьим, и с четвертым испытуемым. Посоветовавшись с разными специалистами, мы разобрались, в чем дело. Установленные в небольшой комнате динамики создавали слуховое впечатление огромного зала. Чувство страха вызывалось несоответствием слухового впечатления со зрительным. Как создавалось это впечатление, неясно до сих пор. Ни на слух, ни с помощью чувствительной аппаратуры мы не обнаружили каких-либо сигналов на выходе усилителей. Но факт остается фактом — опытов мы проделали изрядно. Единственный вывод из этого факта таков: можно слышать тишину или, иначе, информация передается даже весьма слабыми сигналами, настолько слабыми, что их не ощутила аппаратура, находившаяся тогда в нашем распоряжении.

Раз уж мы предались воспоминаниям о Доме звукозаписи, стоит, наверное, сказать, что все виды записи звука реализуют свойство информации сохраняться, или запоминаться. Сейчас широко распространены три метода записи звука: оптический, механический и магнитный. Оптический метод используется в основном для записи звукового сопровождения кинофильмов. Не исключено, что со временем он уступит свое место магнитному.



Механический способ записи — это знают все — изобретен Эдисоном в 1877 году. В приборе Эдисона, фонографе, колебания воздуха, то есть звук, вызывали аналогичные колебания острия специального резца, который прорезал дорожку на поверхности вращающегося воскового цилиндра. После того как цилиндр заменили диском и в конце прошлого века появилась граммофонная пластинка, механический способ записи почти не претерпел изменений. Только в самое последнее время восковые диски, на которых производилась первичная запись, заменили металлическими дисками, покрытыми слоем специальной пластмассы.

Как во времена Эдисона, так и сегодня собственно запись производится с помощью алмазного резца, который прорезает звуковую дорожку на поверхности воска или специальной пластмассы. Резец приводится в движение с помощью специального устройства, называемого рекордером. Качество записи зависит от физических свойств воска или пластмассы, но главным образом — от качества рекордера. Даже на восковом диске и даже в описываемые нами времена, то есть в конце 40-х годов, качество записи было чрезвычайно высоким. Если современные граммофонные пластинки,

или, как их теперь называют, диски звучат лучше тогдашних, то это достигнуто благодаря коренному улучшению свойств пластмасс, из которых изготовляются сами диски, а также улучшению характеристик звуковоспроизводящей аппаратуры. Качество первичной записи в те времена мало отличалось от теперешнего.

Рекордеры для Дома звукозаписи создавались инженером А. Бектабековым и механиком Н. Божко. Согласно почти канонической легенде, которую, правда, никому не приходило в голову проверить, Н. Божко окончил два высших учебных заведения, одно в нашей стране, второе, кажется, в Германии. Но призвание нашел как слесарь-механик высочайшего класса. На его рабочем столе, как на столике в операционной, в идеальном порядке располагались сверкающие инструменты. Все, что выходило из его рук, с полным правом можно было назвать произведением искусства. А. Бектабеков разрабатывал конструкции рекордеров, а Н. Божко воплощал их в жизнь.

Каждый рекордер представлял собой уникальное произведение, и, вспоминая сейчас былые времена, невольно приходишь к мысли, что создатели этих маленьких шедевров должны были бы обладать известностью, ничуть не меньшей, чем создатели знаменитых скрипок. В обоих случаях решалась одна и та же задача. Хороший рекордер отличается от среднего теми же тончайшими нюансами, которыми скрипка Страдивари отличается от скрипки массового производства. Действия рекордера так же, как и действия скрипки, без сомнения, могут быть описаны математическими уравнениями. Но тончайшие нюансы, к сожалению, сегодня еще не имеют языка для своего описания.

Наверное, поэтому не получила распространения довольно забавная идея, возникшая в описываемое нами время, идея рисованного звука. И звуковая дорожка на диске, и прозрачная полоска на кинопленке, называемая фонограммой, имеют определенную геометрическую форму. Не так уж трудно установить соответствие между формой отдельных фрагментов этих дорожек и звуками, возникающими в результате воспроизведения этих фрагментов. При создании музыкальных произведений предлагалось записывать их не нотными значка-

ми, а непосредственно фрагментами звуковых дорожек. Отсюда — рисованный звук.

В этом направлении провели много экспериментов, но распространения метод не получил. Не исключено, что когда-нибудь к нему еще вернутся.

Резюмируя сказанное, можно сделать вывод, что большие объемы информации передаются с помощью тончайших изменений физических величин, не всегда доступных регистрации с помощью существующей измерительной аппаратуры. Может быть, разнообразие нюансов, характерных, скажем, для электрического сигнала, бесконечно, а значит, бесконечно количество информации, которое способен передать такой сигнал? Сегодня наука отвечает на этот вопрос отрицательно. Согласно К. Шеннону предел многообразию кладут шумы, обязательно присущие любому каналу связи. Именно шумы оказывали такое странное воздействие на наших коллег по Институту звукозаписи. Современная физика говорит о том, что даже в отсутствие шумов предел величине многообразия кладется квантовой природой происходящих во Вселенной процессов.

О ДЕМОНАХ

Недостатки теории Шеннона послужили причиной тому, что параллельно с теорией информации возникла и начала развиваться теория ценности информации. В настоящее время теория ценности информации имеет достаточно богатую литературу, в которой предлагаются различные подходы. Сущность их так или иначе сводится к тому, что ценность некоторого сообщения следует измерять в соответствии с тем эффектом, который достигается в результате приема этого сообщения. Идея представляется заманчивой по той простой причине, что, к примеру, на бегах возможность знать заранее, какая лошадь придет первой, явно принесла бы ощутимый эффект. Что касается нас, то упоминание о ценности информации заставляет вспомнить о демонах.

В первой беседе мы говорили, что Н. Винер считал Дж. Максвелла, и совершенно справедливо, основоположником теории автоматического управления. С тем же успехом можно считать Дж. Максвелла основопо-

ложником теории ценности информации. Размышляя о статистических свойствах газов, состоящих из отдельных молекул, Дж. Максвелл предложил такую мысленную модель. Имеется ящик, разгороженный перегородкой на две равные части. В перегородке проделаны два отверстия, снабженные заслонками, и возле каждого отверстия сидит демон.

Сначала обе половинки ящика заполнены газом, причем температура газа, а следовательно, средняя скорость его молекул в обеих половинах ящика одинакова. Дальше происходит следующее. Один демон следит за молекулами, находящимися в левой половине ящика. Каждый раз, когда он видит быструю молекулу, движущуюся в сторону отверстия, он открывает заслонку. Наоборот, перед медленной молекулой, движущейся в том же направлении, заслонка закрывается. Второй демон следит за молекулами, находящимися в правой половине, и выполняет противоположные действия, то есть пропускает через отверстие медленные молекулы и закрывает заслонку перед быстрыми молекулами.

В результате подобной деятельности в правой части ящика собираются более быстрые молекулы, то есть температура там повышается, а в левой собираются более медленные молекулы, и это приведет к понижению температуры. Тепло как бы станет перетекать от более холодного тела к более теплому, что запрещено вторым началом термодинамики. Дж. Максвелл и придумал свою модель как попытку опровергнуть универсальность второго начала.

Демоны Максвелла вызвали бурную полемику и описаны, наверное, в сотнях изданий. Мы рискнули повторить здесь рассказ о демонах, поскольку вывод, который мы собираемся сделать, несколько отличается от общепринятого. Если модель Максвелла действительно работает, то это дает возможность оценивать знание (открывая и закрывая заслонку, демон знает направление и скорость молекулы) непосредственно в единицах температуры или в единицах энергии. Это и есть не что иное, как ценность информации. Осуществимы или нет демоны Максвелла? На этот счет существует общепринятая точка зрения, которую, в частности, изложил Н. Винер в своей «Кибернетике». Поскольку мы



много раз цитировали его книгу, сделаем это и сейчас.

«Легче отвергнуть вопрос, поставленный Максвеллом, чем ответить на него. Самое простое — отрицать возможность подобных существ или механизмов. При строгом исследовании мы действительно найдем, что Максвелловы демоны не могут существовать в равновесной системе; но если мы примем с самого начала это положение и не будем пытаться доказать его, мы упустим прекрасный случай узнать кое-что об энтропии и о возможных физических, химических и биологических системах.

Чтобы Максвеллов демон мог действовать, он должен получать от приближающихся частиц информацию об их скорости и точке удара о стенку. Независимо от того, связаны ли эти импульсы с переносом энергии или нет, они предполагают связь между демоном и газом.

Но закон возрастания энтропии справедлив для полностью изолированной системы. Поэтому мы должны рассматривать энтропию одного газа. Энтропия газа есть лишь компонент общей энтропии более широкой системы. Можно ли найти другие, связанные с демоном компоненты, входящие в общую энтропию?

Бесспорно, можно. Демон может действовать лишь на основании принимаемой информации, а эта информация, как мы увидим в следующей главе, представляет собой отрицательную энтропию. Информация должна переноситься каким-то физическим процессом, например, посредством какого-нибудь излучения. Можно вполне допустить, что эта информация переносится при очень низком уровне энергии и что перенос энергии от частицы к демону в течение значительного времени имеет гораздо меньшее значение, чем перенос информации. Но согласно квантовой механике нельзя получить какую-либо информацию о положении или количестве движения частицы, а тем более о том и другом, без воздействия на энергию исследуемой частицы, причем это воздействие должно превышать некоторый минимум, зависящий от частоты света, применяемого для исследования. Поэтому во всякой связи необходимо участвует энергия. С течением времени Максвеллов демон будет сам подвергаться случайным движениям, соответствующим температуре окружающей его среды, и, как говорит Лейбниц о некоторых монадах, он будет получать большое число малых впечатлений, пока не впадет в «головокружение» и будет не способен к ясным восприятиям. По существу, он перестанет действовать как Максвеллов демон».

Как видите, Н. Винер последовательно придерживается шенноновской теории и уподобляет количество информации термодинамической энтропии. Но зачем же наделять демона свойствами физической системы? Наверное, Максвелл ввел в свою модель демонов, а не некие гипотетические механизмы именно потому, что понимал: стоит только произнести слово «механизм», как модель потеряет смысл. Демон потому и демон, что он имеет право не подчиняться законам физики. А большинство среди тех, кто в дальнейшем обсуждал Максвелловых демонов, почему-то не понимал этого. Суть совсем не в том, какую природу имеет канал передачи информации от молекулы к демону. Суть в том, что согласно воззрениям современной физики такой объект, как молекулу, вообще нельзя локализовать в пространстве и, следовательно, определить, находится она вблизи отверстия или далеко от него.

В этом вопросе интересно до конца разобраться. Давайте несколько модифицируем максвелловскую модель. Пусть это будет не ящик, а цилиндр с поршнем. В исходном состоянии поршень выдвинут насколько это возможно, а в пространстве перед поршнем имеется одна-единственная молекула. Молекула эта непрерывно движется, ударяясь о стенки цилиндра и о днище поршня. Каждый раз при ударе о днище поршня молекула передает ему определенное количество движения. Суммарное воздействие всех ударов проявляется как давление на поршень, во всяком случае, так написано в подавляющем большинстве учебников физики.

Мысленно разделим объем цилиндра перед поршнем на две половины. Теперь о молекуле можно знать лишь одно из двух: в данный момент она находится в половине, примыкающей к поршню, или нет. Если молекула находится в дальней половине, то можно вдвинуть поршень в цилиндр, не испытав никакого противодействия со стороны молекулы, которая согласно нашему знанию находится в этот момент далеко. После того как поршень вдвинут, объем перед поршнем уменьшится вдвое, значит, вдвое участятся удары молекулы о днище поршня, вдвое увеличится давление. Под действием этого давления поршень снова вернется в исходное положение, совершив при этом некоторую работу.

Задача демона в этом примере существенно упрощается, хотя бы потому, что вполне достаточно знать местоположение молекулы, да и то с очень малой точностью, один-единственный раз. Остается добавить, что, не зная ничего о положении молекулы, в среднем в половине случаев, вдвигая поршень, вы будете наталкиваться на молекулу и совершать работу, а в остальных случаях работу будет совершать молекула. Суммарная работа в среднем окажется равной нулю. Дает ли описанная модель что-нибудь новое? Беда в том, что классические представления еще сильны у большинства из тех, кто пытается говорить о современной физике. Не избежал этого и Н. Винер, возложивший всю ответственность за неосуществимость модели Максвелла на одних лишь демонов. Как же все это выглядит на самом деле?

Начнем с того, что молекула в той же степени волна, в какой и частица. Согласно теории Шредингера в зам-

кнутом объеме с заключенной в нем молекулой существуют пространственные волны, занимающие весь объем этого ящика. Более того, волны разлагаются на ряд гармонических составляющих, каждая из которых соответствует одному из стационарных состояний молекулы. Длина волны, или частота, каждой гармонической составляющей прямо зависит от размеров объема, занимаемого молекулой, — с уменьшением объема частота увеличивается. Здесь полная аналогия со струной, имеющей основной тон и обертоны: чем короче струна, тем выше основной тон и соответствующие обертоны.

Вдвигая поршень, вы уменьшаете объем, занимаемый молекулой, а значит, увеличиваете соответствующие частоты. Частота пропорциональна энергии. Вдвигая поршень, вы увеличиваете энергию молекулы, и сделать это можете, только совершив работу. Совсем не обязательно, чтобы молекула сталкивалась (такое может случиться только в классической физике) с днищем поршня. Модель Максвелла так же, как и предложенная нами модель, неосуществима потому, что молекулу нельзя точно локализовать в пространстве, независимо от того, следит за ней демон или не следит.

ТОЧКА ЗРЕНИЯ ШОФЕРА

Следует ли из всего сказанного, что информация не имеет ценности или, ограничиваясь кругом понятий, использованных Максвеллом, что информация никак не связана с работой или энергией? С таким вопросом лучше обратиться к шоферу. Каждый шофер хорошо знает, что такое опережение зажигания. При работе четырехтактного бензинового двигателя чередуются такты выхлопа, всасывания рабочей смеси, сжатия рабочей смеси и рабочего хода, которому должно предшествовать зажигание. Зажигание рабочей смеси производится электрической искрой, которая должна проскочить в строго определенный момент времени, тогда, когда поршень чуть-чуть не дошел до своей верхней точки. Это «чуть-чуть» и называется опережением.

Чтобы искра проскочила в нужный момент времени, система зажигания (сейчас эти системы делают электронными) должна знать положение поршня. Причем

знать точно. Если зажигание установлено неверно, искра проскакивает немножко раньше или немножко позже, при прочих равных условиях мощность двигателя существенно уменьшается.

Вот видите, не требуется никаких демонов. Достаточно слегка изменить момент зажигания на очень малую величину, измерить сопутствующее этому уменьшение мощности и поделить одно на другое. Получится величина, пропорциональная отношению изменения момента зажигания к изменению реальной мощности и номинальной мощности двигателя.

Повторяем, чтобы искра проскочила точно вовремя, нужно знать положение поршня. Если это положение известно не точно (количество информации меньше), произойдет то же самое, что мы сейчас проделали нарочно. Отсюда вывод, что мощность двигателя пропорциональна его номинальной мощности (эта величина складывается из объема цилиндра, степени сжатия, вида используемой горючей смеси и т. п.) и количеству информации, которым располагает система зажигания.

Нужно ли называть номинальную мощность двигателя ценностью информации? По всей видимости, нет. Зачем же считать, скажем, теплотворную способность бензина, которая, естественно, может меняться от случая к случаю, одной из характеристик информации? Ясно ведь, что стоимость тех трех килограммов колбасы равна стоимости одного килограмма, помноженной на три. Но никому не приходит в голову назвать стоимость колбасы ценностью массы вообще, измеряемой в килограммах. Аналогичная ситуация имеет место с информацией.

Наш пример с зажиганием (а таких примеров можно привести множество, достаточно вспомнить хотя бы регулятор Уатта) позволяет окончательно убедиться в том, что информация есть физическая величина и количество ее при определенных условиях может оказаться пропорционально мощности. Только надо измерить количество информации не в среднем, по Шеннону, а так, как мы предлагаем. Ясно, что, если момент проскакивания искры в бензиновом двигателе в среднем выдерживается достаточно точно, но иногда искра возникнет не тогда, когда нужно, или ее не будет вообще, двигатель попросту остановится.

Осуществим ли демон Максвелла? Если рассуждать с самых общих позиций, то, наверное, да. Ведь свойство демона Максвелла состоит в том, чтобы распознавать молекулы. Этим свойством в полной мере обладают нуклеиновые кислоты, каждый триплет которых безошибочно выбирает один из двадцати видов аминокислот и не теряет этого свойства, сколько бы раз ни повторялся выбор. Демон, спрятанный в триплете, обнаруживает истинное свойство молекулы аминокислоты — ее структуру, а не кажущееся — точную локализацию в пространстве, которым на самом деле молекула не обладает. Главная ошибка большинства из тех, кто обсуждал демонов Максвелла, состоит в попытке наделить квантово-механические объекты — молекулы — такими классическими свойствами, как температура, давление и даже в некотором смысле энергия, которыми обладают статистические ансамбли молекул, но не обладают отдельные молекулы.

Рассмотренные модели позволили нам окончательно утвердиться в следующих выводах.

Во-первых, информация, безусловно, есть объективная физическая величина, имеющая количественную меру и допускающая точные измерения.

Во-вторых, использование меры Хартли не приводит к бесконечным многообразиям и, следовательно, к бесконечным количествам информации в силу квантованности физических объектов и процессов, порождающих и переносящих информацию. Одним из примеров, подтверждающих это, может служить та же молекула в замкнутом объеме, имеющая счетное множество стационарных и конечное множество различимых состояний.

«ПОЭЗИЯ — ТА ЖЕ ДОБЫЧА РАДИЯ»

Почему мы так обрушились на теорию Шеннона? Ведь, по нашему собственному признанию, теория эта полезна и плодотворна. Если она чего-то и не может объяснить, об этом следовало бы сказать в одной фразе, а не тратить много времени и бумаги. Попытаемся ответить на этот вопрос.

В XVIII веке большое распространение получила так называемая теория витализма, утверждавшая, что меж-

ду живой и неживой природой существует принципиальное различие. Все объекты живой природы содержат в себе особую «жизненную» силу. Объект живой природы, будь то человеческий организм, растение или бактерия, не может быть сконструирован искусственно из неорганических соединений.

Первый серьезный удар витализму был нанесен в 1828 году, когда немецкий химик Фридрих Веллер синтезировал из неорганических веществ (углекислоты и аммиака) первое органическое соединение — мочевину. То, что мы узнали о белковых молекулах и процессах их синтеза, казалось бы, дает уверенность, что с витализмом покончено. Создание живого из неживых компонентов в пробирке представляет собой на сегодня достаточно ординарную операцию. Появилось даже название «биотехнология» для стремительно развивающейся в последние годы отрасли науки и техники.

Но не тут то было! Не просто оказалось покончить с витализмом. Если вы хотите убедиться в этом, попробуйте предложить гуманитарию, да и необязательно гуманитарию, подсчитать, например, количество информации, содержащейся в стихотворении А. С. Пушкина. Гуманитарий ответит вам, что в стихотворениях А. С. Пушкина надо мерить не информацию, а вдохновение.

Витализм, полностью вытесненный из химии и биологии, как это ни невероятно, еще сохраняет свои позиции в области, связанной с информацией. Одной из причин этому оказался именно шенноновский подход, поскольку, провозгласив зависимость количества информации, содержащейся в сообщении, от свойств ее получателя, он вносит в саму теорию элемент субъективизма, а дальше все, как говорится, дело техники.

Объективность меры количества информации и вообще понятия информации особенно важна потому, что в противном случае открывается широкое поле деятельности для всякого рода «внутренних голосов» и «гениальных озарений». Недаром мы начали эту беседу с упоминания о внутреннем голосе. По свидетельству современников, сразу после выхода в свет пушкинской «Пиковой дамы» многие игроки пытались ставить на тройку, семерку и туза. Вероятно, кто-то из них даже выиграл. К сожалению, такое было не только в XIX ве-

ке, но и позже. А сколько разговоров велось о телепатии, и не только разговоров? Сколько потрачено времени и усилий на постановку всякого рода «экспериментов»? Вера в телепатию в основном базируется на том, что многие не до конца отдают себе отчет в истинном существе информации.

Особое значение имет правильный взгляд на сущность информации при планировании научных исследований, выработке научного метода. Именно в науке больше всего принято верить во внутренний голос и гениальные озарения. В связи с этим приведем выдержки из прекрасной статьи академика А. Мигдала, опубликованной в первом номере журнала «Наука и жизнь» за 1982 год.

«Как рождаются и развиваются теории? Вот история одной из них — закона всемирного тяготения.

Идея о том, что сила, заставляющая планету двигаться вокруг Солнца и яблоко падать с дерева, имеет одну и ту же природу, высказывалась многими учеными и философами. Легенда об упавшем яблоке, которое навело Ньютона на идею об универсальности тяготения, наивна — эта идея в то время повторялась на все лады. За много лет до Ньютона Кеплер пытался доказать, что планеты двигаются не по прямой, а по эллипсам под действием силы притяжения Солнца.

Почему же закон всемирного тяготения называют «законом Ньютона»? Справедливо ли это?

Любая общая идея приобретает ценность, только если она подтверждена научными доводами, и честь открытия принадлежит тем, кто способствовал превращению этой идеи в доказанную истину. Как часто об этом забывают изобретатели общих идей!

В поэтических и туманных образах древнеиндийских сказаний можно усмотреть идею Расширяющейся Вселенной, научно обоснованную в XX веке и блестяще подтвердившуюся с открытием реликтового излучения. Имела ли эта идея какую-либо научную ценность, повлияла ли она на сохранение теории тяготения Эйнштейна? Разумеется, нет. В море смутных и случайных утверждений всегда можно выловить нечто, подтвердившееся дальнейшим развитием науки. Ньютон был первым, кто превратил общую идею всемирного

тяготения в физическую теорию, подтвержденную опытом...

Здравый смысл, которым мы пользуемся в практической жизни, руководствуется разумной оценкой вероятности того или иного события. Здравый смысл и интуиция определяют выбор направления поисков. Раньше чем разрывать навозную кучу, надо оценить, сколько на это уйдет времени и какова вероятность того, что там есть жемчужина. Именно поэтому мало серьезных ученых занимаются поисками неожиданных явлений вроде телепатии. Неразумно прилагать большие усилия, если согласно интуитивной оценке вероятность удачи ничтожно мала. Ведь пока нет сколько-нибудь убедительных для ученого теоретических или экспериментальных указаний на само существование телепатии. Зато после первого же научного результата в эту область устремились бы громадные силы. Так и должна развиваться наука. Мы сознательно проходим мимо мест, где, может быть, и можно найти клад, и направляемся туда, где вероятность найти его, по нашей оценке, наибольшая. Иначе не хватит сил и времени на самое главное.

Интуитивная оценка вероятности успеха всегда субъективна и требует большого научного опыта. К сожалению, ничего лучшего для выбора разумного направления поисков, чем научные конференции, семинары и обсуждения со специалистами, придумать пока не удалось.

Вот краткое заключение наших рассуждений о научном методе исследования: схема научного познания выглядит так — эксперимент, теория, правдоподобные предположения, гипотезы — эксперимент — уточнение, проверка границ применимости теории, возникновение парадоксов, теория, интуиция, озарение — скачок — новая теория и новые гипотезы — и снова эксперимент...

Научный метод, в основе которого лежит объективность, воспроизводимость, открытость новому, — великое завоевание человеческого разума. Этот метод развивался и совершенствовался и был отобран как самый рациональный — из требования минимума потерь времени и идей. Уже более трех веков наука руководствуется им, при этом ничего не было загублено.

Неизбежный элемент любого развития — заблужде-

ния, но научный метод придает науке устойчивость, заблуждения быстро устраняются силами самой науки».

В истинной науке нет места для внутренних голосов и гениальных озарений. Представление об информации как о физической величине, допускающей точное измерение, позволяет нам понять, что научные исследования — это нормальный технологический процесс, совершаемый по определенным правилам, а научное открытие — это продукция, получаемая в таком процессе. И процесс выплавки стали, и процесс производства научных исследований в равной степени могут подвергаться усовершенствованию. Усовершенствование научных исследований часто достигается за счет того, что мы называем интуицией.

Интуиция не имеет ничего общего с внутренним голосом. Интуиция — это переработка информации, правда, в отдельных случаях совершаемая подсознательно. Наука знает много примеров, когда некто, совершивший открытие, не мог потом восстановить ход своих рассуждений. Но всякий раз оказывалось, что в его знаниях содержалась вся необходимая исходная информация.

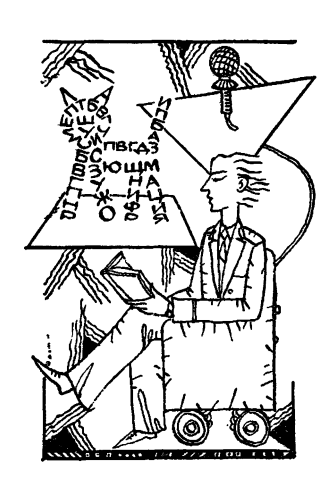
В современных условиях наибольший эффект в совершенствовании научного метода достигается за счет автоматизации отдельных этапов процесса научных исследований, за счет применения средств информатики. Более того, сейчас уже есть целые области исследований, прежде всего в физике элементарных частиц, которые вообще немыслимы без привлечения технических средств информатики. Достаточно вспомнить об ускорителях элементарных частиц.

Основываясь на последних данных науки, мы имеем все основания утверждать, что информация независимо от того, является ли ее носителем электрон, молекула РНК или стихотворение, отпечатанное типографским способом, есть не что иное, как объективная физическая величина, допускающая измерение. Правда, вопрос о мере количества информации на сегодня еще не решен окончательно, однако уже достаточно ясно, что мера Хартли обладает всеми необходимыми свойствами, и если ее нужно усовершенствовать, то лишь для повышения удобства использования.

Получение информации представляет собой нормальный технологический процесс в естественных или искус-

ственных физических системах. В этом смысле извлечение информации ничем не отличается от процесса извлечения железа из железной руды. К слову сказать, в металлургических процессах используется и играет свою необходимую роль опять-таки информация.

Теперь мы можем дать более или менее строгое определение предмета наших бесед. Совокупность научных методов и технологических процессов, связанных с извлечением, преобразованием, передачей, хранением, накоплением и размножением информации, объединяется сейчас под общим названием «информатика». Информатике и посвящены предлагаемые читателю беседы. Что касается основоположника информатики, то таковым, на наш взгляд, справедливее всего считать В. Маяковского, впервые провозгласившего, что «поэзия — та же добыча радия». Мы ведь можем сказать, что для добычи крупинки информации приходится перерабатывать горы словесного мусора.



Беседа четвертая

МЕХАНИЗМЫ РАССУЖДАЮТ

СЛУЧАЙ В ДОРОГЕ

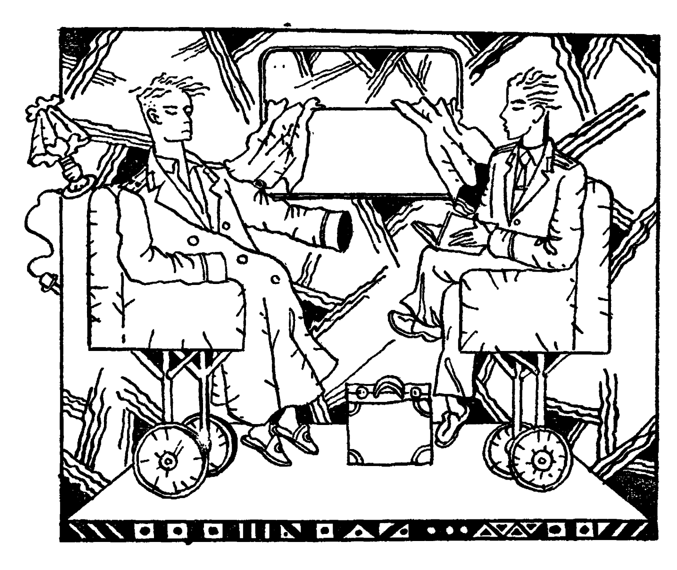
В купе двое: военный — полковник и штатский. Штатский возвращается из командировки. Весь день он бегал по разным учреждениям, устал до изнеможения и смертельно хочет спать. Полковнику, наоборот, не спится. Он уютно устроился возле ночника и с удовольствием читает детектив.

— Я вижу, вы все равно не спите, — обращается штатский к полковнику. — Будьте так добры, разбудите меня, когда остановимся на ближайшей станции. Мне надо телеграмму отправить.

— Конечно, с удовольствием, — отвечает полковник.

Штатский отваливается на подушку и погружается в сон.

Время идет, колеса постукивают. Полковнику начинает мучительно хотеться спать. Но он человек долга и героически борется со сном. Вот и станция. Последним усилием воли полковник будит соседа, убеждается, что тот поднимается с дивана, после этого гасит ночник и засыпает. Штатский еще в полусне, в темноте купе



вместо своего пальто накидывает шинель военного и выходит на перрон. Входит в вокзал, подходит к окошечку телеграфа. Внезапно в стекло стойки он видит отражение военного с полковничьими погонами.

— Идиот! Кого он разбудил?! — восклицает штатский и, понурив голову, возвращается в вагон.

А чему вы, собственно, смеетесь? Наш маленький рассказ — пример того, что называется умозаключением. Причем умозаключением, проведенным по всем правилам классической Аристотелевой логики. «Все мужчины храбры. Кай мужчина, значит, он храбр», — провозглашал Аристотель. Подобные рассуждения получили название силлогизмов. С них начинается любой учебник логики. «Все люди в шинелях — военные, — рассуждал наш герой. — Я в шинели, значит, это не я». Так что же тут смешного?

Но он же должен был знать, что он это он! Вера в неизменность человеческого «я» — одно из самых стойких заблуждений человечества. В повести братьев Стругацких «Понедельник начинается в субботу» директор Научно-исследовательского института чародейства и волшебства (НИИЧАВО) Янус Полуектович Невструев — ученый мирового класса. Он открыл способ осу-

ществлять контрамоцию, изменять направление времени. Поставив эксперимент над собой, Невструев начал жить в обратном направлении — из будущего в прошлое.

С тех пор у сотрудников НИИЧАВО стало как бы два директора, точнее, один, но в двух лицах. А-Янус Полуектович Невструев, посредственный администратор, но люди прозорливые видят, что постепенно он превращается в крупного ученого. У-Янус Полуектович Невструев, ученый с мировым именем, но прямо на глазах сотрудников в нем все более проступают черты посредственного администратора. Эта поучительная история — прекрасный пример тому, что «я» в данный момент совсем не то же самое «я», что полчаса тому назад.

КТО ТАКОЙ КАЙ

Мы отвлеклись в сторону. Какие там фантастические истории ни рассказывай, рассуждаем мы логически. В наши дни Аристотелева логика поставлена на прочный математический фундамент. В результате сформировалась наука — формальная логика, ее называют алгеброй логики. Основным в формальной логике является понятие высказывания. «Кай — мужчина», «снег — бел», «кошка — млекопитающее» — все это примеры высказываний. В Аристотелевой, а теперь и в формальной логике высказывание может быть только либо истинным, либо ложным. Третьего не дано. Это положение так и называется — закон исключенного третьего. Если высказывание «снег — бел» истинно, то высказывание «снег не бел» обязательно ложно.

С чего начинается формализация логики? С того, что, подобно иксам и игрекам в обычной алгебре, высказывания рассматриваются как переменные величины, способные принимать одно из двух значений: истинно или ложно.

Первый раздел формальной логики — исчисление высказываний. Здесь изучаются правила, по которым над высказываниями проводятся операции аналогично сложению и вычитанию в алгебре. Операция отрицания НЕ — единственная операция, которая выполняется над

одним высказыванием. Все остальные операции формальной логики требуют по меньшей мере двух высказываний.

Одна из операций получила название ИЛИ (дизъюнкция). Операция ИЛИ позволяет связать между собой два или несколько высказываний, образуя сложное высказывание. Если есть высказывание А и высказывание Б, то по законам формальной логики может существовать также высказывание А ИЛИ Б. Высказывание А ИЛИ Б, в свою очередь, может быть либо истинным, либо ложным. Для того чтобы оно было истинным, достаточно, чтобы истинным было хотя бы одно из составляющих его высказываний. Например: осадки — это дождь идет или снег идет.

Вторая операция называется И (конъюнкция). Сложное высказывание А и Б истинно в том, и только в том случае, если истинны оба составляющих его высказывания. Например: ясная погода — это когда снег не идет и дождь не идет.

Кроме операций, в формальной логике изучаются отношения. Простейшее — отношение эквивалентности. Если высказывания А и Б связаны между собой отношением эквивалентности (А эквивалентно Б), то оба они должны быть либо одновременно истинными, либо одновременно ложными. Так, запись «А эквивалентно Б и В» справедлива, то есть отвечает законам формальной логики, если в качестве высказывания Б взято, к примеру, высказывание «Я съел суп», в качестве высказывания В — «Я съел второе», а в качестве высказывания А — «Я пообедал».

Операции НЕ, И и ИЛИ, вместе взятые, обладают замечательным свойством функциональной полноты. Любое сколь угодно сложное высказывание конструируется как последовательность более простых высказываний, связанных между собой операциями НЕ, И и ИЛИ.

Что получается? Все, что в обычном языке называется рассуждением или умозаключением, представляет собой логическую конструкцию. Наука логика учит строить подобные конструкции и в процессе строительства исключать из них явные и скрытые противоречия. Логика позволяет также устанавливать истинность или ложность сложных высказываний, когда из-

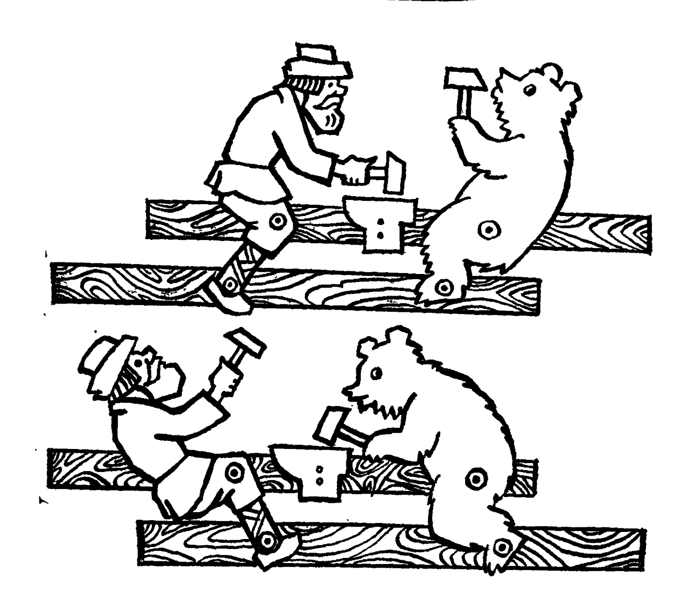


Рис. 2.

вестна истинность или ложность составляющих их простых высказываний. На страницах этой книги мы не раз обратимся к логике. Пока отметим важную деталь. Высказывание, построенное по законам логики, отличается несомненной стройностью, больше того — красотой.

МУЖИК И МЕДВЕДЬ

Строгие рассуждения подчиняются логическим законам. Значит, если создать вещь, действия которой подчиняются логическим законам, то будут все основания считать эту вещь способной рассуждать? Вероятно, так думал немецкий философ-идеалист, математик, физик и изобретатель Г. В. Лейбниц. Поэтому он построил уникальную для своего времени «рассуждающую» машину. Она состояла из движущихся рычажков и обладала способностью строить простейшие умозаключения. Как работала машина Лейбница, проще все-

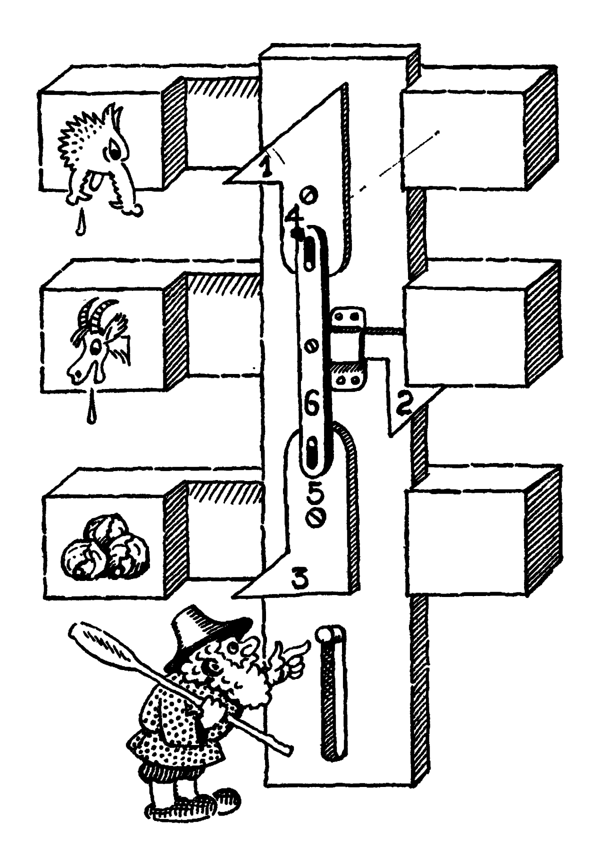


Рис. 3а

го понять на примере деревянной игрушки «Мужик и медведь».

Фигурки мужика и медведя укреплены на стерженьках, концы которых прибиты к планке маленькими гвоздиками. Потянули планку вправо — по наковальне ударяет мужик. Подвинули планку влево — по наковальне ударяет медведь. Действия этой игрушки отвечают законам формальной логики. Медведь — всегда медведь, мужик — всегда мужик. Планка может быть передвинута или влево, или вправо. И медведь и мужик могут или ударять по наковальне, или не ударять. Если

ударил, значит, ударил, если нет — то нет. Наконец, фигурки действуют, когда вы перемещаете планку. Высказывание «мужик ударил» истинно, когда планка передвинута вправо. Работа игрушки описывается логической формулой: «мужик ударил» эквивалентно «медведь не ударил».

При желании конструкция усложняется так, как показано на рисунке *2*. Стерженьки, на которых укреплены фигурки, прибиты к двум подвижным планкам. Если обе планки находятся в крайних положениях, медведь и мужик «отдыхают». Верхняя планка сдвинута влево, нижняя вправо — ударяет мужик. Верхняя — вправо, нижняя — влево, ударяет медведь. Истинность высказывания «мужик ударил» или «медведь ударил» следует из истинности двух исходных высказываний: верхняя планка сдвинута влево (первое) и нижняя планка сдвинута вправо (второе).

Убедил вас простой пример в том, что вещи способны рассуждать? Если нет, разберем пример посложнее. Построим машину, решающую задачку о волке, козе и капусте. Как ее сформулировать? На левом берегу реки находятся перевозчик с лодкой, волк, коза и капуста. Необходимо всех переправить на правый берег. Задача перевозчика усложняется двумя обстоятельствами. Во-первых, его лодка мала и в каждый рейс он может взять с собой кого-нибудь одного. Во-вторых, нельзя оставлять без присмотра волка с козой и козу с капустой. Как быть перевозчику?

Ответ на этот вопрос дает сконструированный нами механизм. Поскольку нам снова, в который раз, придется рассматривать механизм в действии, мы попросили художника сделать несколько зарисовок, соответствующих разным положениям одного и того же механизма.

На рисунке *3а* (рисунок авторов. — *Ред.*) показаны три горизонтальные планки с прорезями. Верхняя соответствует волку, на ней нарисован волк, средняя — козе, а нижняя — капусте, на них также сделаны соответствующие рисунки. Перемещение горизонтальных планок ограничивается тем, что край прорези, правый или левый, упирается в четвертую, вертикальную планку.

Все горизонтальные планки изображены в крайних

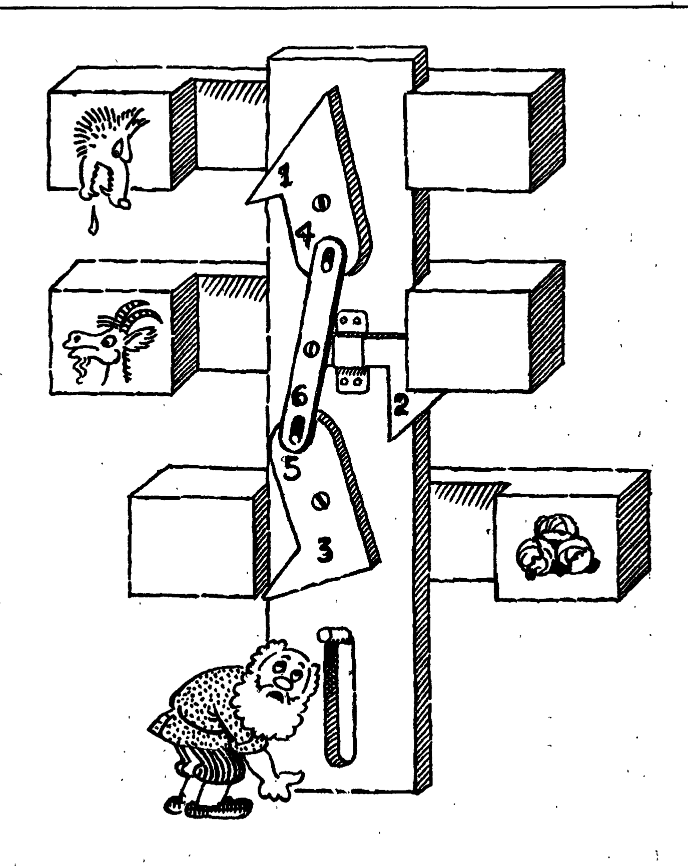


Рис. 36.

левых положениях, что соответствует нахождению волка, козы и капусты на левом берегу реки. Вертикальная планка соответствует перевозчику. Она перемещается в вертикальном направлении, то есть поднимается или опускается. Перемещение вертикальной планки ограничивается штифтом, проходящим через прорезь в ее нижней части. На вертикальной планке укреплен механизм, состоящий из рычажков, шарниров и клиньев. На нашем рисунке вертикальная планка показана в крайнем нижнем положении. Это означает, что перевозчик также находится на левом берегу реки.

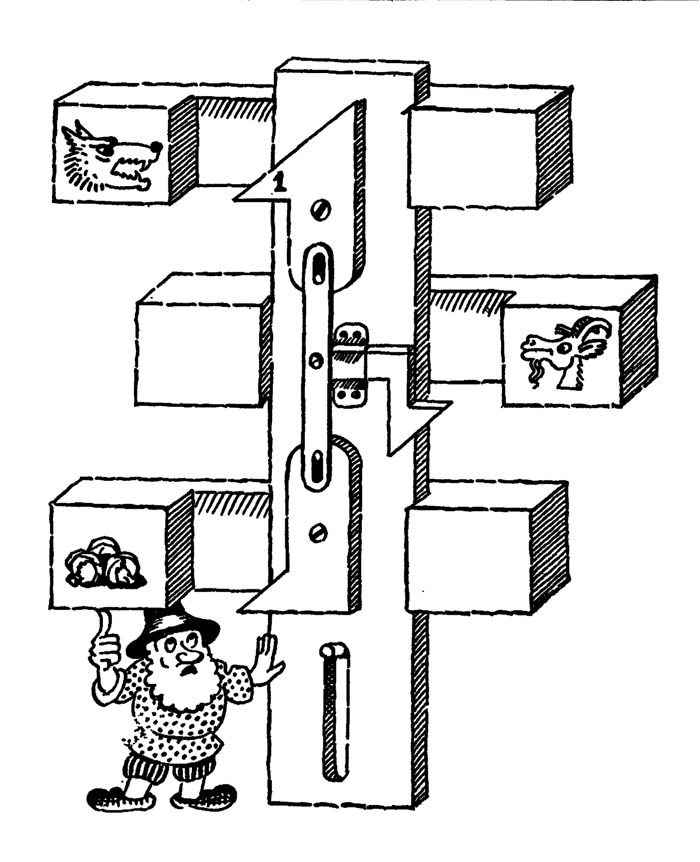


Рис. 3в.

Как работает наш механизм? Начнем понемногу разбираться. Сначала условимся, что, если одну из горизонтальных планок вы передвинете из крайнего левого в крайнее правое положение, это означает, что перевозчик взял с собой в лодку соответственно волка, козу или капусту. Если затем поднять вертикальную планку вверх, это означает, что перевозчик перевез то, что он взял с собой, на правый берег.

Сначала посмотрим, может ли перевозчик переехать на другой берег один? Подтолкнем вертикальную планку вверх (вы пока еще смотрите на рисунок *3а*). Полу-

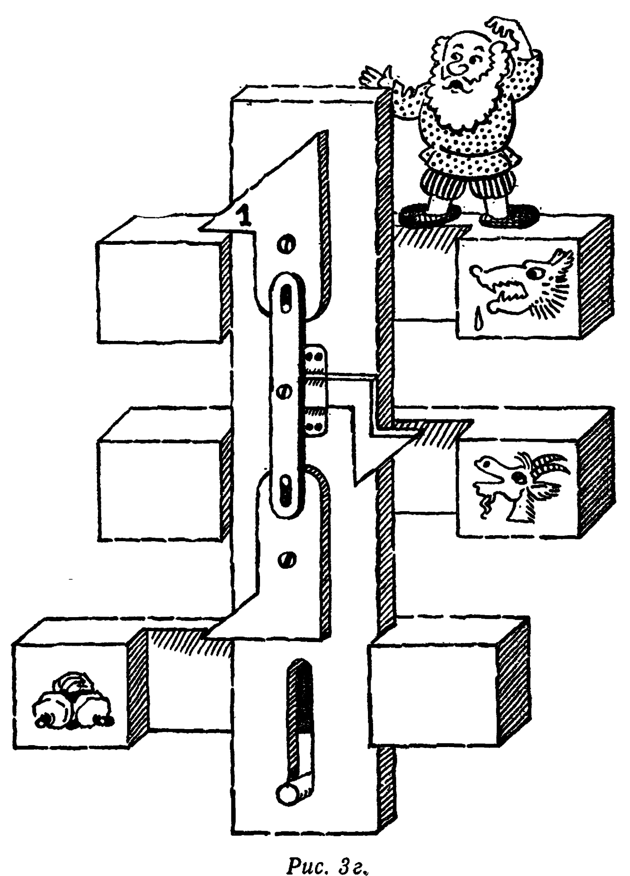


Рис. 3г.

чается что-нибудь? Нет, ничего не получается, поскольку клин, помеченный цифрой *2*, упирается своей горизонтальной плоскостью в планку «Коза». И поделом перевозчику — нельзя оставлять без присмотра сразу и волка, и козу, и капусту.

Предположим теперь, что перевозчик взял с собой в лодку капусту. Передвигаем нижнюю горизонтальную планку вправо. Положение частей механизма в результате такого передвижения показано на рисунке *3б*. Сдвинутая вправо планка «Капуста» нажимает на ост-

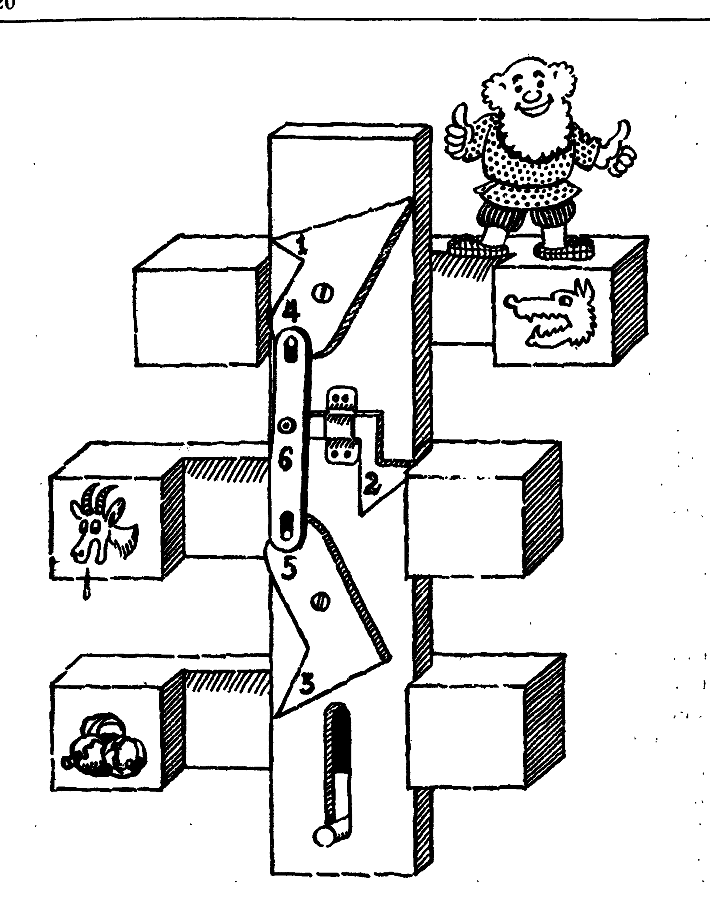


Рис. 3д.

рие клина *3*. Перемещаясь вправо, этот клин поворачивает рычаг *5* вокруг шарнира. Противоположный конец рычага *5* нажимает на рычаг *6*, который также поворачивается вокруг шарнира и другим своим концом нажимает на конец рычага *4*. Все это заканчивается тем, что клин *1* чуть-чуть выдвигается влево, но клин *2* остается на месте. Вертикальный рычаг по-прежнему нельзя поднять. Перевозчик не имеет права сдвинуться с места. Все верно — волка с козой нельзя оставлять наедине.

То же самое получается, если перевозчик берет с собой в лодку волка. Этот случай мы предлагаем читателю разобрать самостоятельно, а разобрав, убедиться, что для капусты коза неподходящая компания.

Остается единственная возможность: взять в лодку козу. Перемещаете горизонтальную планку «Коза» вправо и немедленно убеждаетесь, что теперь для перевозчика путь свободен. При желании он может совершить с козой в лодке сколько угодно рейсов с одного берега на другой и вернуться, оставив козу на правом берегу. Соответствующее этому положение частей механизма и показано на рисунке *3в*. Коза находится на правом берегу (горизонтальная планка с надписью «Коза» сдвинута вправо), а перевозчик находится на левом берегу (вертикальная планка — в нижнем положении).

Теперь перевозчик может взять с собой либо волка, либо капусту. Попробуем — волка. Передвигайте планку «Волк» в крайнее правое положение. Правда, клин *1* касается планки «Волк», но касается своей наклонной поверхностью, а в таком случае клин не препятствует движению. Перемещаете вертикальную планку вверх и приходите к положению, показанному на рисунке *3г*. Волк, коза и перевозчик — на правом берегу, капуста — на левом.

Теперь бы перевозчику в самый раз вернуться назад за капустой, но не тут-то было. Клин *1* своей горизонтальной плоскостью прочно уперся в планку «Волк». Все правильно! Волка нельзя оставлять с козой. Можно забрать с собой в обратный путь волка, для этого достаточно передвинуть верхнюю горизонтальную планку влево, но тогда вы вернетесь к уже существовавшему раньше положению. Зачем же повторяться? Пусть перевозчик лучше возьмет с собой в обратный путь козу. Передвигаете планку «Коза» влево и приходите к положению, показанному на рисунке *3д*.

Подтолкните вертикальную планку вниз. Что получается? Клин *2* своей наклонной поверхностью упирается в планку «Коза». Под давлением вашего пальца вертикальная планка перемещается вниз, а стержень, на котором укреплен клин *2*, перемещается влево. Пластинка, к которой прикреплен стержень, также перемещается влево и давит на концы рычагов *4* и *5*. Оба рычага поворачиваются вокруг своих шарниров, клинья *1* и *3* пере-

мещаются вправо. Перевозчик с козой беспрепятственно следует на левый берег.

Теперь перевозчику следует забрать с собой капусту. Перемещаете планку «Капуста» вправо. Стараетесь поднять вертикальную планку вверх... Получается? Да, получается. Оба клина, *1* и *3*, скользят по соответствующим планкам своими наклонными поверхностями. Рычаги *4* и *5* поворачиваются одновременно и давят сразу на оба плеча рычага *6*. При таких условиях рычаг *6* не в состоянии повернуться вокруг своего шарнира. Все, что ему остается, это перемещать стержень, на котором он укреплен, а следовательно, клин *2* влево. Капуста благополучно перевезена на правый берег и составила компанию волку.

Перевозчик возвращается на левый берег, что возможно, так как клин *2*, скользя своей наклонной поверхностью по планке «Коза», втягивает клинья *1* и *3*, как уже было описано раньше. Последним рейсом перевозчик перевозит козу — перемещаете соответствующую планку вправо. Задача решена.

Вряд ли у кого-нибудь остались сомнения в том, что вещи или, точнее, механизмы способны рассуждать. С помощью простого механизма удалось решить задачу, которая, если, конечно, она решается впервые, требует в общем-то известного труда. Если вы поразмыслите над описанной машиной, вы убедитесь в том, что у этой задачи есть и другое решение, иная последовательность перевозок, и это решение тоже определяется с помощью нашего механизма.

Можно и сжулить, то есть погрузить в лодку сразу всех, волка, козу и капусту. Механизм сработает в этом случае. Но ни одной из запрещенных комбинаций он не допустит.

В чем секрет? Нет никакого секрета. Просто отдельные части механизма действуют в соответствии с законами формальной логики. Логические законы предписывают выводить правильные следствия из правильных исходных предположений. В переводе на язык механизмов это звучит так: некоторые движения оказываются возможными в том случае, если им предшествуют определенные движения, и невозможными — в противном случае.

Наш механизм обладает также памятью. Перемещая планки, вы как бы запоминаете, на каком берегу реки находятся волк, коза, капуста и перевозчик. Для самого проницательного читателя сделаем еще один намек. Перемещение клина *2* всегда влечет за собой перемещение клиньев *1* и *3*. А заставить перемещаться клин *2* можно, если вы перемещаете сразу оба клина, *1* и *3*. Иными словами, мысль (высказывание) о том, что можно перевозить козу, оказывается правильной (истинной) в том только случае, если волк и капуста уже находятся на другом берегу.

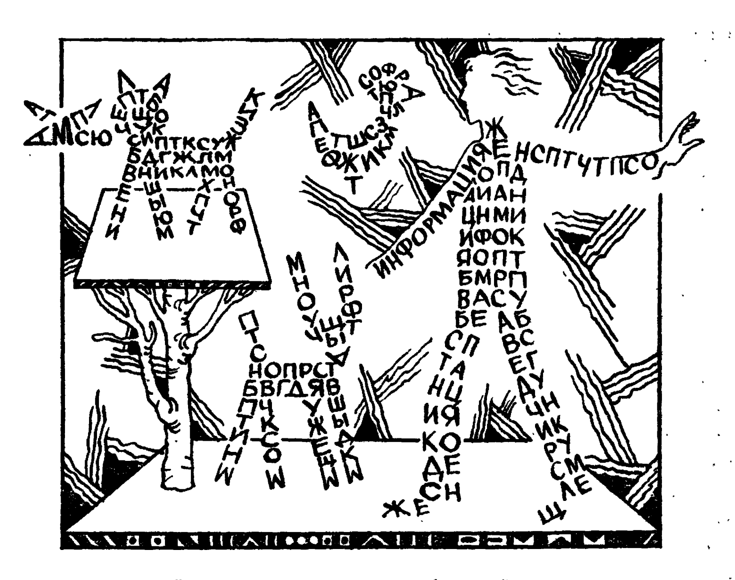
В МАСТЕРСКИХ ПРИРОДЫ

Каким образом те же рассуждения выполняются в мастерских природы и выполняются ли они вообще? Безусловно, да. К положительному ответу на этот вопрос вы, читатель, уже подготовлены всем тем, что говорилось в нашей второй беседе. Как рассуждает природа?

Минуя более простые процессы, рассмотрим в качестве примера синтез белков в живых клетках. Из отдельных нуклеотидов строятся молекулы двух веществ: рибонуклеиновой кислоты (РНК) и дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). В первой беседе мы обратили внимание на РНК, а сейчас настала очередь посмотреть, что представляет собой ДНК.

Скажем сразу, молекула ДНК — это основной чертеж, в простейшем случае одной-единственной клетки, а в более сложном случае — всего организма, состоящего из множества клеток. Молекулы ДНК находятся в ядре каждой клетки, то есть в самом защищенном от внешних влияний месте. Оно и понятно, ведь молекулы ДНК содержат полный чертеж клетки и тем самым определяют все процессы ее жизнедеятельности.

Молекула ДНК представляет собой последовательность нуклеотидов, каждый из которых содержит одно из следующих оснований: аденин, гуанин, тимин и цитозин. Нуклеотиды входят в молекулу в самых разных сочетаниях, и в этом смысле молекула ДНК представляет собой как бы строчку символов. В каждом месте этой строчки выбирается один символ из четырех. Количество нуклеотидов в молекуле ДНК определяет сложность соответствующего организма.



Так, полный чертеж вируса табачной мозаики составляется из 6230 нуклеотидов. Полный чертеж человеческого организма, то есть количество нуклеотидов в молекулах ДНК, входящих в состав всех 46 хромосом клетки человека составляет девять миллиардов. То, что это действительно полный чертеж организма, в настоящее время доказано экспериментально. Хромосомы из клетки мыши, взятой из кожи, переместили в ядро яйцеклетки другой мыши, из которого предварительно удалили имевшиеся там хромосомы. Подвергшуюся операции яйцеклетку поместили в матку мыши. В положенный срок родился нормальный мышонок, представляющий собой точную копию особи, у которой были взяты хромосомы. От «матери» он при этом не унаследовал ничего. В настоящее время подобную биотехнологию начинают внедрять в промышленных масштабах для разведения племенного скота.

Итак, что представляет собой полный чертеж человеческого организма? Это текст, содержащий девять миллиардов букв специального четырехбуквенного алфавита. В пересчете на русский алфавит это составит около 240 миллионов букв, то есть примерно 96 тысяч страниц типографского текста. Столько же, сколько содержит вся

Большая советская энциклопедия. Судите сами, много это или мало? Конечно, речь идет только о чертеже организма, а не той информации, которая приобретается человеком в течение его жизни.

Вернемся к молекулам ДНК. Как правило, в ядре клетки молекулы ДНК существуют в виде пар, причем пары скручиваются в единую спираль. Молекулы отличаются друг от друга. В том месте, где у одной молекулы размещен аденин, у другой молекулы — тимин. А там, где у некой молекулы размещается гуанин, у другой — цитозин. Водородные связи объединяют пары оснований и тем самым удерживают две молекулы ДНК одну возле другой. Образование связанных пар оснований АТ и ГЦ характерно для всех молекул ДНК, и по этой причине оно получило название закона комплементарности.

Событием, чаще всего происходящим с живой клеткой, является ее деление. Перед делением спираль, состоящая из двух молекул ДНК, раскручивается. На каждой молекуле под действием специального фермента, называемого ДНК-полимераза, из нуклеотидов, растворенных в веществе клетки, строится вторая молекула, комплементарная к исходной. Таким образом, вместо одной спирали образуются две. После деления спирали расходятся по дочерним клеткам — по одной в каждую.

Что для нас самое интересное? Подобное удвоение, или, как говорят биологи, репликация, — единственный процесс, в котором участвует ДНК. Любые другие процессы жизнедеятельности клетки совершаются без участия ДНК, которая сохраняется в хорошо защищенном месте — в ядре клетки. Процессы, происходящие в клетке, управляются уже знакомыми нам молекулами РНК.

Во второй беседе мы говорили об РНК в общих чертах, не вдаваясь в подробности. Настала пора сказать, что существует по меньшей мере три класса молекул РНК: информационные (иРНК), транспортные (тРНК) и рибосомальные (рРНК). Все три вида РНК строятся на молекуле ДНК в результате процесса репликации, удвоения, и под воздействием специальных ферментов РНК-полимераз. Будучи построена, молекула РНК тут же покидает ядро и переходит в жидкое вещество клетки, цитоплазму.

На одной молекуле ДНК строится много разных молекул РНК. При этом относительное количество различных молекул РНК также различно. Например, у бактерий в синтезе тРНК участвует всего 0,025 процента ДНК, а в синтезе рРНК — 0,3 процента ДНК. На большей части молекулы ДНК синтезируются разные по величине иРНК. Молекулы рРНК довольно большие, их молекулярный вес находится в пределах от 500 тысяч до 2 миллионов. Молекулы рРНК соединяются со специальными белками, образуя рибосомы. Рибосомы — это своеобразные станки, на которых в дальнейшем и происходит синтез белка. Как только рибосома готова, на ней закрепляется какая-нибудь иРНК.

А вот дальше начинается самое интересное. Суть в том, что аминокислоты — это соединения довольно флегматичные и сами по себе ни в какие отношения с иРНК не входят. Мы уже говорили, что раствор аминокислот остается просто раствором сколь угодно долго. Аминокислоты не стремятся соединиться друг с другом. Мало что изменится, если запустить в такой раствор иРНК. Работы по непосредственному синтезу белка выполняют тРНК. Их описано не менее 20 типов (а вообще их еще больше), так как каждой аминокислоте соответствует своя тРНК. Функции всех тРНК сводятся к транспортировке аминокислот в рибосомы и укладке их на матрицы иРНК в пептидную цепь согласно коду белкового синтеза, записанному на тРНК.

Как это происходит на самом деле? Молекулы тРНК относительно короткие и содержат всего 70—85 нуклеотидов. В середине нити такой молекулы расположены последовательности нуклеотидов, определяющие конкретный вид тРНК, следовательно, конкретный вид аминокислоты, который она предназначена транспортировать. А концы у тРНК строятся по единому принципу. Один конец у тРНК всегда состоит из комбинации АЦЦ. Это и есть тот «крючок», которым молекула тРНК «подцепляет» аминокислоту. Но крючка недостаточно. Аминокислоты и на крючок не очень-то реагируют. Для их активизации используются опять-таки ферменты, но другие, с довольно сложным названием — аминоацил-тРНК-синтетазы.

У каждой аминокислоты свой фермент. По предложению академика В. А. Энгельгардта их называют ко-

ротко — кодазами, потому что каждая кодаза как бы кодирует специфическую аминокислоту. Под воздействием кодазы к нужной молекуле аминокислоты присоединяется молекула специального вещества, аденозитрифосфорной кислоты, или, сокращенно, АТФ.

АТФ — интересное вещество. В клетках организма молекулы АТФ выполняют функции накопителей и источников энергии. АТФ входит в состав мышечных клеток. Чтобы показать, насколько эффективны молекулы АТФ, заметим, что сократительный белок мышцы способен поднять груз, в тысячу раз превышающий вес самой мышцы.

Снабженные энергией комплексы аминокислота — тРНК — АТФ становятся подвижными, и тРНК оказывается способной оттащить соответствующую аминокислоту к рибосоме. На другом конце тРНК расположен триплет, комплементарный к одному из триплетов иРНК. С его помощью тРНК подтаскивает аминокислоту в нужное место иРНК. Например, если речь идет об аминокислоте фенилаланин, она должна присоединиться к триплету УУУ иРНК, следовательно, на конце соответствующей тРНК расположен комплементарный триплет ААА.

Размещенные на своих местах аминокислоты соединяются с ранее доставленными аминокислотами, образуя очередной участок пептидной цепи. Что касается молекулы тРНК, то, закончив транспортировку, она возвращается в цитоплазму и продолжает трудиться дальше. Все тРНК большие труженики, работают дружно и с немалой нагрузкой. То же самое справедливо для рибосом. Как только завершается построение молекулы белка, рибосомы используются для синтеза другой молекулы.

На разных стадиях жизнедеятельности организму требуются разные белки. Поэтому молекулы иРНК синтезируются не все сразу, а по мере необходимости. Выполнив свою функцию, каждая молекула иРНК сходит с рибосомы и распадается.

Но почему мы назвали все это рассуждениями?

А как же иначе? Рассуждая, человек высказывает нечто такое, что может быть выражено строчкой текста, то есть последовательностью букв. Синтез белка также дает строчку — последовательность аминокис-

лот. Содержится ли в подобной записи какой-либо смысл? Для тех, кто умеет читать, несомненно. Например, читая такие строки, можно восстановить историю возникновения жизни на Земле.

Трудно не отметить поразительной схожести описанного процесса с работой завода. Для работы завода прежде всего необходим комплект чертежей, куда должны входить не только чертежи производимых изделий, но и чертежи станков и чертежи размещения этих станков в цехах. В случае клетки все это хранится на одной-единственной молекуле ДНК. Чертежи из основного комплекта нельзя отдавать в цехи. Они очень скоро истреплются, станут неразборчивыми и в производстве станут наступать сбои. В цехи передаются копии чертежей. Роль этих копий в клетке играют молекулы иРНК.

И завод и клетка работают на основе сырья, которое на заводе хранится на складе, а в клетке — в цитоплазме. В процессе производства сырье транспортируется к рабочим местам, станкам — на заводе и рибосомам — в клетке. К стыду некоторых организаторов производства, следует заметить, что в клетках процесс транспортировки всегда автоматизирован — его выполняют тРНК, а на многих заводах он до сих пор выполняется вручную. Что касается тРНК, они подобны автокарам и даже используют горючее, роль которого в клетке выполняет АТФ.

Наконец, еще одно важное уточнение. Если бы считывание с длиннейшей молекулы иРНК производила одна рибосома, синтез белка шел бы медленно. Но организм ждать не может — ему подавай белок как можно скорее. Поэтому в процессе синтеза рибосомы работают «бригадным» методом, объединяясь по четыре, по девять и даже по нескольку десятков штук, образуя полирибосомы, или полисомы. Всего рибосом в клетке несколько тысяч.

На заводе каждая технологическая операция выполняется не случайным образом, а в соответствии с неким организационным планом. Рабочий получает задание на выполнение тех или иных операций. Эти задания оформляются в виде нарядов. Точно так же в клетке. И отдельные операции, то есть транспортировка аминокислоты к рибосоме, и комплексы операций, такие,

например, как репликация, выполняются под управлением специальных веществ — ферментов. Ферменты в клетке выполняют роль нарядов.

Белки синтезируются не все сразу, а по мере необходимости. Есть все основания утверждать, что существует некий общий организационный план деятельности клетки. Особенно ярко это проявляется при развитии целого организма из одной-единственной яйцеклетки. Клетки не только делятся, но и специализируются. Две клетки, получившиеся в результате первого деления оплодотворенной яйцеклетки похожи друг на друга. Однако затем в результате последующих делений образуются клетки мускулов, клетки внутренних органов, нервные клетки. Все это происходит в соответствии с предначертанным планом, и план этот записан на исходной молекуле ДНК.

Приведем интересный пример. Всем хорошо известно одноклеточное существо — амеба. Амеба размножается делением, и в результате деления из одной амебы образуются две дочерние клетки. Каждая дочерняя клетка, в свою очередь, делится на две дочерние клетки и т. д. Один ученый заставил амебу делиться 500 раз подряд и внимательно наблюдал за всеми ее поколениями. Легко посчитать, что каждой амебе пятисотого потомства досталась часть вещества исходной амебы, которая определяется числом, равным единице, деленной на 2^{500}. Представляете себе, что это значит?

Амеба-потомок не содержит ни одной молекулы из числа тех, которые входили в состав амебы-прародительницы. Тем не менее амеба пятисотого поколения по внешнему виду и свойствам точно такая же, как и амеба-прародительница. Она имеет такой же химический состав, содержит те же белки, нуклеиновые кислоты, углеводы и другие вещества и обладает таким же обменом веществ.

О чем говорит этот пример? Каждое очередное поколение амеб получает от своих предков информацию. Информация эта представляет собой совершенно определенную физическую сущность, поскольку уже в пятисотом (а их бывает гораздо больше) поколении амеба может не содержать ни крупинки вещества или энергии, принадлежавших амебе-прародительнице. Тот факт, что независимо от числа разделяющих их поколений амеба-

предок во всех деталях практически полностью повторяет амебу-прародительницу, свидетельствует о существовании четкого организационного плана. Плана, который, судя по всему, выполняется гораздо лучше, чем реальные планы на некоторых реальных предприятиях.

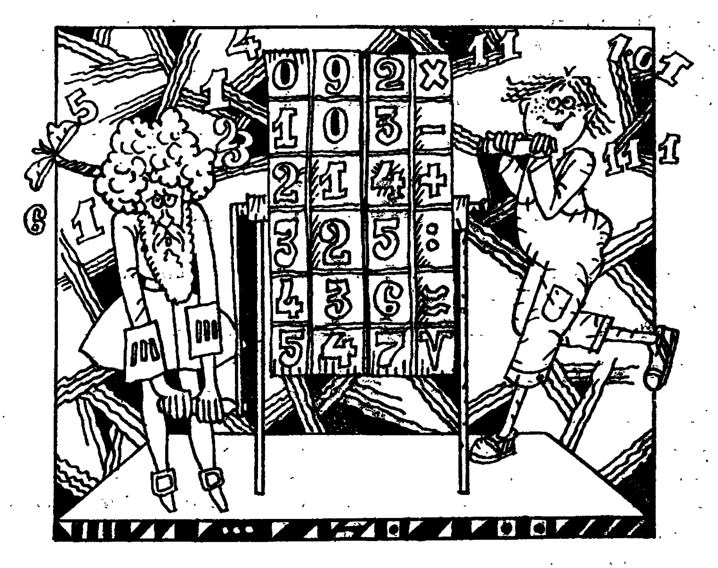
РАССУЖДАЮЩИЕ МАШИНЫ

Настала пора поговорить об искусственных созданиях, предназначенных в основном для рассуждений. По всей видимости, читатель давно недоумевает: почему до сих пор мы ни разу не упомянули об их существовании?

Ответ прост. Мы последовательно проводим ту мысль, что процессы переработки информации — это естественные природные процессы, совершающиеся практически повсеместно и в живой и в неживой природе. ЭВМ представляет собой лишь естественное звено в общей цепи развития природы в целом и человеческой культуры в частности.

Кстати, людям редко удавалось придумать для своих творений столь неудачное название, как это получилось с ЭВМ, то есть электронными вычислительными машинами. Во-первых, это не машины вовсе, поскольку по определению машина должна иметь движущиеся части. Во-вторых, не вычислительные, поскольку хотя в принципе они способны выполнять вычисления, но это ни в коем случае нельзя считать их основной профессией. С тем же успехом вычислительными можно считать две палки, поскольку приставив одну к другой мы, очевидно, выполним операцию сложения, прибавив длину одной палки к длине второй. Единственно, что имеет какое-то оправдание, это слово «электронные». Действительно, современные ЭВМ строятся на основе электронных компонентов. Но надолго ли? Предки ЭВМ были механическими, а что будет дальше? Большинство специалистов придерживаются того мнения, что уже в начале третьего тысячелетия электроника уступит место биотехнологии.

Неудача с названием сказывается и в том, что в различных публикациях часто встречается словосочетание через дефис: электронно-вычислительные, — что звучит так же дико, как коричнево-сладкие или твердо-наход-



чивые. В англоязычных странах используют слово «компьютер», которое столь же неудачно, поскольку в переводе на русский язык означает всего лишь «счетчик». Ближе к сути дела подошли французы. Для обозначения ЭВМ они используют слово «ordinateur», что с некоторой натяжкой переводится как «организатор». Тоже не слишком хорошо, но гораздо ближе к истине.

Суть, безусловно, не в названии. Аббревиатура ЭВМ прочно вошла в наш быт и, по всей видимости, сохранится в языке. Мы попросим только наших читателей не пользоваться такими дикими конструкциями, как «электронно-вычислительная» или, того хуже, «электронно-счетная» — так тоже бывает.

Как рождались и развивались ЭВМ? В 1834 году английским ученым Чарльзом Бэббиджем (1791—1871) была предпринята попытка создания универсальной цифровой вычислительной машины с программным управлением. Основные принципы организации своей «аналитической машины» Бэббидж разработал в 1834 году, а работу над ней продолжал до конца жизни. В 1843 году дочь поэта Байрона Августа Ада Лавлейс, исследуя возможности машины, доказала, что машина Бэббиджа способна выполнять операции не только над

числами, но и над словами, и составила первую достаточно сложную программу для вычисления чисел Бернулли. В 1888 году Г. Голлерит (1860—1929) разработал счетную машину на электромеханических счетчиках.

С начала 20-х годов XX века цифровая вычислительная техника использовалась бухгалтерами, статистиками, отдельными учеными и научными коллективами. Подобная техника была представлена арифмометрами на механических элементах с ручным или электроприводом для механизации расчетов и табуляторами на электромеханических реле (типа машины Голлерита), которые выполняли операции сложения и вычитания при обработке больших массивов информации.

В 30-е годы производство цифровых вычислительных машин перешло на серьезную индустриальную основу. Фирма ИБМ в США освоила массовый выпуск машин, выполняющих операции сложения, вычитания, умножения (в отдельных случаях и деления) с регистрацией результатов на перфокартах и перфолентах.

Разработка проектов универсальных вычислительных машин с программным управлением, реализующих идеи Бэббиджа, началась во второй половине 30-х годов в Германии и США. Первая такая машина была создана инженером Карлом Цузе в 1941 году. Г. Айкен, сотрудник Гарвардского университета (США), вместе со своими коллегами начал проектировать релейную универсальную вычислительную машину МАРК-1. Проект был готов в 1944 году. В том же 1944 году несколько релейных специализированных вычислительных машин выпустила фирма «Белл» (США). Наконец, первый проект электронной вычислительной машины разработал Дж. Атанасов (США) в 1939 году. Атанасов пытался самостоятельно, с единственным помощником, реализовать свой проект и построить электронную вычислительную машину. Работы велись до 1941 года, но так и остались незавершенными.

НАЧАЛО ЭЛЕКТРОННОЙ ЭРЫ

Все перечисленные факты представляют собой достижения официальной историографии. В этой связи нам хотелось бы поставить два вопроса. В какой степе-

ии вообще можно связывать поворотные моменты в истории человеческой культуры, а появление и развитие информатики, несомненно, представляет собой такой поворотный момент, с именем одного или даже нескольких человек? Список авторов вычислительной техники мы начали с Бэббиджа, однако этот перечень неполный, его можно было бы продолжить, упомянув Паскаля и Лейбница, и еще гораздо далее в глубь времен. В конце концов, автором первой вычислительной машины с полным правом можно считать того, кто начал вести счет прожитым дням или убитым животным, делая зарубки на дереве. Если проекты Паскаля и Лейбница, а заодно и проект Бэббиджа не получили того, что мы сегодня называем внедрением, то объясняется это главным образом тем, что человечество еще не испытывало настоящей потребности в подобных машинах.

Второй наш вопрос таков. Можно ли считать, что появление ЭВМ совершило революцию в информатике, ведь таково распространенное мнение? Слов нет, именно электронная линия привела к тем поистине фантастическим результатам, свидетелями которых мы являемся. ЭВМ ЭНИАК, введенная в действие в США в 1946 году, обладала быстродействием, лишь в несколько сот раз превышающим быстродействие своих релейных предшественниц. За последующие сорок лет — примерно с 1947 по 1987 год — быстродействие увеличилось в миллион раз. Достигнуто это было не столько за счет использования электроники как таковой — еще в начале 50-х годов стало ясно, что электронные лампы бесперспективны, — сколько за счет использования полупроводниковых структур.

По мнению одного из историографов вычислительной техники С. Лилли, «в любое время после 1919 года можно было создать практически действующую электронную счетную машину». Дата 1919 год названа потому, что в 1918 году М. Бонч-Бруевич и независимо от него У. Икклс и Ф. Джордан в 1919 году изобретают триггер, то есть один из возможных элементов памяти на электронных лампах.

Окончательный ответ на наш второй вопрос таков. Действующая ЭВМ могла быть создана в любое время начиная с 1919 года (вероятно, на несколько лет раньше или на несколько лет позже). Она не была создана

потому, что в те времена отсутствовала насущная потребность в таких машинах. Что же касается триггера, то для вычислительной техники появление его не было совершенно обязательным. Это следует хотя бы из того простого факта, что конструировались и успешно работали, например, ЭВМ на феррит-диодных ячейках, не содержавшие ни единого триггера и вообще ни одной электронной лампы.

ЭВМ В НАШЕЙ СТРАНЕ

Как начинала развиваться электронная вычислительная техника в Советском Союзе? Самые первые работы в этой области можно связать по меньшей мере с именами И. Брука, Б. Рамеева и С. Лебедева. Предварительное знакомство с Баширом Искандаровичем Рамеевым состоялось до того, как мы увидели его лично. Во время работы во Всесоюзном научно-исследовательском институте звукозаписи, точнее, в 1946 году многие научные споры между сотрудниками заканчивались тем, что кто-то бежал звонить Рамееву. Если он возвращался с возгласом: «Башир сказал» или «Башир так считает», споры автоматически прекращались. Авторитет этого совсем еще молодого в то время ученого был непререкаем.

Личное знакомство с Б. Рамеевым состоялось весной 1950 года, когда судьба свела нас под одной крышей. Невысокого роста, черноволосый, с ясно выраженным монголоидным типом лица и негромким голосом — для описания его облика трудно найти какой-либо другой эпитет, кроме слов «интеллигентный», «профессорский». Авторитет Б. Рамеева распространялся не только на научные вопросы. Одному из авторов довелось в то время быть профоргом отдела, и это была истинная мука. Например, сообщение о том, что первое место в социалистическом соревновании присуждено не лаборатории Б. Рамеева, встречалось его сотрудниками в штыки.

С 1947 по декабрь 1949 года Б. Рамеев работал в Энергетическом институте АН СССР имени Г. М. Кржижановского в лаборатории, возглавлявшейся тогда И. Бруком. Ими совместно и был разработан проект универсальной электронной вычислительной машины.

Авторское свидетельство на ЭВМ И. Брук и Б. Рамеев получили в августе 1948 года. Сейчас этот проект ЭВМ хранится в Музее Октябрьской революции в Ленинграде.

С. Лебедев (1902—1974) с 1928 по 1946 год работал в Москве во Всесоюзном электротехническом институте. В 1945 году он стал действительным членом АН УССР и переехал в Киев, где с 1946 по 1951 год был директором Института электротехники АН УССР. Бурное развитие энергетики и в первую очередь создание энергетических колец, приведшее в конечном итоге к образованию Единой энергетической системы страны, потребовало сложнейших математических расчетов, которые не могли быть выполнены вручную. Это обстоятельство и побудило С. Лебедева направить свои интересы в сторону электронной вычислительной техники. Появление в Киеве проекта малой электронной счетной машины (МЭСМ) датируется 1948 годом. В конце 1951 года с помощью МЭСМ были решены многие важные задачи, в том числе расчет устойчивости магистральной линии электропередачи Куйбышев — Москва.

Лично с Сергеем Алексеевичем Лебедевым мы познакомились в конце 1950 года. Невысокого роста, худощавый, очень подвижный, он поражал своей поистине невероятной трудоспособностью. В доме Лебедевых, в большой профессорской квартире в Киеве, было уютно и весело. Среди гостей, в большинстве музыкантов, художников, артистов, можно было встретить и известных эстрадных артистов Тимошенко и Березина. Конечно, непременно там были и ученые, но они както тушевались на «артистическом» фоне. Они, но не сам С. Лебедев. Обыкновенно он приезжал домой из института, где с группой сотрудников разрабатывал проект большой электронной счетной машины (БЭСМ) ближе к полуночи. По словам жены, «он всегда обедал завтра». Никаких признаков усталости — буквально с порога Сергей Алексеевич окунался в атмосферу веселья, на равных участвовал в разыгрывавшихся небольших сценках, шутках, музыкальных номерах. Проведя таким образом около часа, он уходил в кабинет, говоря, что надо еще немного поработать.

Можно ли на основании всего сказанного датировать появление электронной вычислительной техники в

Советском Союзе 1948-м годом? И да и нет. Юридически — да, поскольку именно в это время появились первые авторские свидетельства на проекты ЭВМ. И все же, наверное, нет. Во-первых, потому, что идеи создания ЭВМ, бесспорно, появились у всех перечисленных ученых раньше. По некоторым данным, к примеру, И. Брук начал работать в этом направлении еще до Великой Отечественной войны. Пауза в развитии ЭВМ до 1948 года объяснялась главным образом тем, что, как показала жизнь, для создания промышленных образцов ЭВМ требуются гораздо большие усилия, чем те, которые могли быть реализованы относительно небольшими коллективами, находившимися в распоряжении И. Брука и С. Лебедева.

Такая ситуация чрезвычайно характерна для науки и техники XX века. Обычно автором некоторого изделия новой техники принято считать того или тех, кто впервые высказал основную идею. При практической реализации эта идея подчас буквально тонет в огромном количестве частных инженерных проблем, может быть, и не новых, но требующих больших усилий и больших затрат для своего разрешения. Не случайно многие идеи остаются нереализованными из-за невозможности преодолеть трудности, на первый взгляд кажущиеся второстепенными.

Забегая вперед, скажем, что в области вычислительной техники, или, говоря с современных позиций, информатики, самые большие трудности встретились при создании не самих ЭВМ, а периферийных устройств, решавших, казалось бы, второстепенную задачу — обмен информацией между ЭВМ и внешней средой. К слову сказать, и поныне эта задача не нашла вполне удовлетворительного решения.

Как всегда, судьба ЭВМ в нашей стране решилась, исходя из реальных потребностей. Во второй половине 40-х годов стало ясно, что существуют по меньшей мере две группы задач: одна, связанная с ядерной физикой, вторая — с баллистическими ракетами или, говоря более широко, с космической техникой. Эти задачи не могли быть решены без мощных (конечно, по тогдашним оценкам) быстродействующих ЭВМ. Поэтому весной 1949 года по постановлению Советского правительства на Институт электротехники АН УССР, возглав-

ляемый С. Лебедевым, возлагалась задача разработки ЭВМ, отвечающей тогдашним требованиям.

В то же время второе постановление Советского правительства предусматривало создание на базе Московского завода счетно-аналитических машин (завод САМ), выпускавшего электромеханические табуляторы, двух новых организаций: Научно-исследовательского института счетного машиностроения (НИИсчетмаш) и Специального конструкторского бюро. Среди этих организаций заводу САМ отводилась роль опытного производства, а на весь комплекс была возложена задача разработки и создания релейной (да-да, не удивляйтесь, релейной) вычислительной машины.

ЕДИН В ТРЕХ ЛИЦАХ

Директором и завода, и НИИсчетмаша, и СКБ был назначен один и тот же человек — М. Лесечко (1909—1984). Решение о назначении единого в трех лицах директора оказалось исключительно правильным. Тем самым полностью исключались столь часто поминаемые в настоящее время недобрым словом межведомственные барьеры. Завод, институт и конструкторское бюро работали слаженно, как единый организм, что не мешало каждой организации сохранять достаточную степень автономии. Возник даже такой анекдотичный случай, когда в связи с какой-то финансовой неурядицей М. Лесечко пришлось самому на себя подавать в суд.

Два года, проработанные в СКБ, вспоминаются как самые плодотворные и интересные в нашей жизни. Михаил Авксентьевич Лесечко был руководителем самого высокого класса. Будучи директором в трех лицах, он имел три кабинета и соответственно трех секретарш. Однако такого понятия, как «попасть на прием» или «ожидать приема», у нас просто не существовало. Любой сотрудник, от начальника отдела до лаборанта, просто открывал дверь и входил в тот кабинет, где в данный момент находился директор. Между прочим, пришедший однажды не по делу или с делом незначительным, во второй раз подобных попыток уже не предпринимал. Как добивался этого Михаил Авксентьевич, неизвестно. Он никогда не повышал голоса и не устраи-

вал так называемых разносов. Но факт остается фактом — все обстояло именно так.

Широкоплечий, огромного роста, со слегка наклоненной, как у большинства высоких людей, головой, М. Лесечко представлял собой сочетание высочайшей требовательности и доброжелательности. Когда писался эскизный проект ЭВМ «Стрела», Михаил Авксентьевич не пропускал ни одной синтаксической ошибки. А ведь проект состоял из нескольких толстенных томов и каждому из составителей в кратчайшие сроки (кажется, две или три недели) приходилось писать порядка ста машинописных страниц. Если текст излагался суконным языком, Михаил Авксентьевич требовал все переписать заново, подчас по нескольку раз.

Главная особенность М. Лесечко — громадная, совершенно необъяснимая для нас тогда, да, верно, и теперь, научная и инженерная интуиция. Подтверждением тому служит тот факт, что почти сразу после назначения директором он взял на себя смелость нарушить постановление и заняться разработкой не релейной, а электронной вычислительной машины, в последующем получившей название «Стрела». Не ошибался он и в подборе кадров. В 1949 году он пригласил на работу Б. Рамеева, возглавившего лабораторию арифметических устройств, Г. Прокудаева, возглавившего лабораторию оперативной памяти. Оба имели к тому времени достаточно большой опыт работы в своей области.

Разработка оперативной памяти и на электронно-лучевых трубках со вторичной эмиссией проводилась в СКБ впервые в мире. По словам ее разработчика Г. Прокудаева, окончательную уверенность в правильности выбранного направления — а такая уверенность была совершенно необходима! — он получил только после того, как это направление получило одобрение на совещании у М. Лесечко. То же самое может утверждать один из авторов этой книги, занимавшийся в описываемое время в СКБ внешней памятью на магнитных носителях.

Выдающиеся качества М. Лесечко как руководителя нашли свое признание. Сразу после сдачи промышленного образца ЭВМ «Стрела» Государственной комиссии весной 1954 года М. Лесечко стал министром СССР, затем заместителем председателя Госплана СССР

(1958 год) и наконец заместителем Председателя Совета Министров СССР.

Вспоминая СКБ, нельзя не упомянуть начальника отдела цифровых ЭВМ Юрия Яковлевича Базилевского (1909—1983). Блестящий руководитель, вскоре после окончания работ над «Стрелой» Ю. Базилевский был назначен заместителем министра приборостроения, средств автоматики и систем управления.

Обращаясь памятью к тем годам, а ведь прошло совсем немного времени, чуть больше тридцати лет, трудно сказать, кто был автором или, если угодно, лидером разработки ЭВМ «Стрела». Слов нет, такие специалисты, как Б. Рамеев и Г. Прокудаев, во всем, что касалось решаемых ими конкретных задач, обладали гораздо большими знаниями по сравнению с руководителями М. Лесечко и Ю. Базилевским. При всем при том без Ю. Базилевского «Стрела» вряд ли получила бы свое конструктивное завершение, а без М. Лесечко могла бы не состояться вообще.

Для характеристики отношений в коллективе, а состоял он из нескольких сотен человек, характерен такой эпизод. Когда стало ясно, что, кроме оперативной памяти на электронно-лучевых трубках, понадобится также внешняя память на магнитных носителях (магнитном барабане и магнитной ленте), Г. Прокудаев, ведавший всеми вопросами памяти, собрал группу сотрудников и предложил им заняться решением новой задачи. Объяснив суть проблемы, он предложил всем совместно подумать и распределить темы: кому заниматься барабаном, кому — лентой, кому — магнитными головками, кому — механикой, а начальника лаборатории выбрать себе через некоторое время, когда мы приработаемся друг к другу и сама жизнь выдвинет лидера. Этот факт характеризует не столько личные качества Г. Прокудаева, сколько общий стиль, царивший в коллективе. Тот же стиль в известной степени проявлялся и в отношениях с другими организациями.

29 июня 1948 года в системе АН СССР был создан Институт точной механики и вычислительной техники, возглавлявшийся академиком Н. Бруевичем. Вначале институт занимался разработкой электромеханических вычислителей непрерывного действия, однако в 1950 году решением президиума АН СССР было утверждено

новое основное направление работы института. Директором института стал академик М. Лаврентьев, а заведующим одной из лабораторий С. Лебедев. Характерное для тех времен явление: С. Лебедев, постоянно живший в Киеве и до 1951 года остававшийся директором Института электротехники АН УССР, одновременно с этим заведовал лабораторией в Москве, преподавал в Московском энергетическом институте и еще состоял научным руководителем так называемого двенадцатого отдела СКБ.

В этой связи возникает интересный вопрос. Были ли элементы соперничества между создателями вычислительной техники и — в более крупном масштабе — между АН СССР (там же работал И. Брук) и Министерством машиностроения и приборостроения СССР, в ведении которого находились завод САМ, НИИсчетмаш и СКБ? К сожалению, многие современные авторы часто пытаются вручить пальму первенства одному человеку или одной организации. Но так поступать, нам кажется, неправомочно. Что говорить, элементы соперничества были. Более того, во время наездов в Киев, а таких наездов было несколько, один из авторов этой книги делился с Сергеем Алексеевичем своими мыслями, идеями, достижениями и в то же время, что греха таить, кое-что, как говорится, наматывал на ус. Так же вели себя и сотрудники Института электротехники АН УССР. Но говоря по большому счету и к чести наших тогдашних руководителей, следует признать, что наша страна оказалась обладательницей вполне современной по тем временам и промышленно выпускаемой вычислительной техники, причем произошло это в рекордно короткий срок — с весны 1950-го до весны 1954 года, — только благодаря совместным усилиям всех участвующих в этом процессе коллективов.

Если говорить о разделении труда, то с современных позиций оно, по всей вероятности, должно выглядеть так. Основной труд по созданию производственной базы для дальнейшего промышленного выпуска средств электронной вычислительной техники, безусловно, был выполнен комплексом: СКБ, НИИсчетмаш, завод САМ. Такую задачу — создание не ЭВМ вообще, а промышленного, серийного образца ЭВМ, ставил перед всеми нами М. Лесечко. Задача была не из легких. С первых

же шагов все мы, люди, обладавшие к тому времени кое-каким опытом всевозможных разработок, быстро убедились в одной, совсем неочевидной тогда истине. Из того, что некое устройство прекрасно работает, изготовленное, скажем, в пяти экземплярах, ни в коей мере не следует, что то же самое устройство будет работать вообще, если его сделать в ста экземплярах и попытаться все сто заставить работать совместно.

Подобные обстоятельства существенно сказались на разработке «Стрелы». В силу производственной целесообразности мы были вынуждены ориентироваться на в известной степени устаревшие, но зато проверенные жизнью элементы. В первую очередь это относится к электронным лампам. В разработке «Стрелы» использовались лампы старого типа, более громоздкие и более энергоемкие. В то же время С. Лебедев, в меньшей степени связанный с требованиями производства, мог позволить себе проводить разработку на более современных пальчиковых электронных лампах. Результатом этого стал тот факт, что ЭВМ БЭСМ к моменту ее выпуска оказалась самой быстродействующей в Европе — восемь тысяч операций в секунду.

КАК СТРОИЛИ БАНЮ

Вспоминается такой забавный случай. Разработка отдельных устройств «Стрелы» велась разными лабораториями, и лаборатории обменивались между собой только самой необходимой информацией. М. Лесечко уделял большое внимание ее внешнему виду. Состояла «Стрела» из отдельных металлических стоек высотой около двух метров. Стойки выстраивались друг возле друга покоем, образуя большую букву П, занимавшую зал площадью около ста квадратных метров. С лицевой стороны стоек были дверцы с зеркальными стеклами. Вся установка смотрелась внушительно и очень красиво.

«Стрела» относилась к первому поколению ЭВМ и, как известно, была выполнена на электронных лампах. Лампы со светящимися внутри подобно раскаленным уголькам красными точками накала выглядели солидно и таинственно. В соответствии со сложившими-

ся тогда в приборостроении традициями. лампы располагались всегда, особенно если их было много, на лицевой стороне аппаратуры.

Так поступили и разработчики «Стрелы». Но не все. Исключение составила лаборатория, конструировавшая устройство, заведующее логикой. В этом устройстве оказалось сравнительно мало ламп, зато с противоположной стороны стоек располагалось много проводников, шин, выкрашенных в яркие цвета и создававших красивый геометрический узор. Правильность расположения проводников соответствовала стройности логических конструкций. После основательных размышлений разработчики устройства — оно называлось арифметико-логическим — решили сделать лицевой не ту сторону, где лампы, а ту, где проводники.

Вот наконец все стойки выстроились в машинном зале. Каково же было удивление присутствующих, когда оказалось, что у всех с лицевой стороны — лампы и лишь одна стойка как бы вывернута наизнанку. Посмеялись и, посмеявшись, пришли к единодушному выводу, что так нельзя. Стойки лучше привести в соответствие друг с другом. Но что надо перевернуть? Каждый из авторов считал себя правым. Начался спор, но никаких решающих аргументов ни у той, ни у другой стороны не оказалось. Ситуация была явно нелепой, смешной, несуразной и при всем том безвыходной. А до срока сдачи «Стрелы» Государственной комиссии оставались считанные дни, чтобы не сказать часы.

Спор, который сначала бурлил между инженерами и руководителями групп, перекинулся на уровень начальников отделов, а затем — заместителей директора. Не найдя своего разрешения и на этом уровне, спор перекинулся в министерство. Как всегда бывает в подобных случаях, нашлись сторонники и того и другого варианта. И вот в один незабываемый вечер, точнее, утро, поскольку время было далеко за полночь, в машинном зале собрался весь генералитет во главе с тогдашним министром машиностроения и приборостроения П. Паршиным. Разговор шел все о том же: поворачивать или не поворачивать, и если поворачивать, то какие стойки?

В это время несколько инженеров и техников доделывали последние штрихи в конструкции «Стрелы».

Признаться честно, когда лежишь на спине под стойкой и держишь над собой паяльник, с жала которого капли расплавленного олова норовят упасть тебе за шиворот, споры над головой настроения не улучшают. Поэтому один из нас не выдержал и, вылезши из-под стойки, протолкнулся в середину генеральской группы и сказал, что хочет рассказать старую побасенку. Бывшие ему ответом взгляды выражали все, что угодно, кроме одобрения. Но решившись, следовало довести дело до конца, и он продолжал:

— Жители одной деревни задумали сообща построить баню. Дружно строили почти до конца и в самый последний момент заспорили, чуть не передрались. Спор шел о том, как поступать с досками для полков: строгать или не строгать? Если строгать, доски будут скользкими, а человек к тому же в мыле — соскользнет, упадет, ногу сломает. Если полки не строгать, голому человеку недолго и занозу получить. И так плохо, и так нехорошо! Что делать? Спорили-спорили, ни до чего не договорились, пошли к деду, старому и умному. «Вот дураки, — сказал дед, когда разобрался, в чем дело. — Доски, конечно, надо строгать, а потом класть строганой стороной вниз».

Несколько мгновений недоуменного молчания, и раздался дружный хохот. Смеялись все. Не прошло и пяти минут, как злополучная логическая стойка оказалась перевернутой. Отсюда видно, что и логику можно перевернуть.

ОТ БЭСМ И ДАЛЕЕ

Институт точной механики и вычислительной техники АН СССР с 1955 года фактически стал в СССР монополистом в области программирования, или, как сейчас говорят, систем математического обеспечения. Создание таких систем, которые и были реализованы на ЭВМ «Стрела» и БЭСМ, связано с именами члена-корреспондента АН СССР Л. Люстерника, М. Шура-Бура и других. Что касается БЭСМ, то ее разработку, без сомнения, следует считать начатой в Киеве. Постепенно центр тяжести всех работ перемещался в Москву. Процесс этот закончился в 1953 году, когда С. Лебедев стал действительным членом АН СССР и был назначен

директором Института точной механики и вычислительной техники. Эту должность он исполнял до 1973 года. Серийное производство машины БЭСМ было организовано на том же заводе САМ.

Иначе сложилась судьба коллектива, работавшего под руководством И. Брука. Этот коллектив не принимал непосредственного участия в разработке «Стрелы» и БЭСМ. Однако работы здесь не прекращались, и лаборатория И. Брука со временем даже выделилась в самостоятельную организацию. И снова, чтобы правильно понять происходившее, нужно хорошо представлять себе, что всякая крупная научная разработка всегда отвечает насущным потребностям общества.

Как в случае «Стрелы», так и в случае БЭСМ разрабатывались мощные, по тогдашним меркам, ЭВМ. Это отвечало положению вещей, но вместе с тем был нарушен естественный порядок разработок от более простого к более сложному. Мощные ЭВМ были нужны лишь для решения относительно ограниченного (опять-таки по тем временам) круга задач. Массовый потребитель нуждался в ЭВМ средней мощности. Именно такую задачу поставил перед своим коллективом И. Брук. В результате к 1956 году была готова ЭВМ М-3. Эта машина содержала всего 770 электронных ламп по сравнению с 4 тысячами БЭСМ и 8 тысячами у «Стрелы». В качестве оперативной памяти использовался магнитный барабан, что также существенно упростило конструкцию.

Машина М-3 послужила прообразом для ряда ЭВМ «Минск», выпускавшихся большими сериями и сыгравших значительную роль в народном хозяйстве нашей страны.

То, что самой распространенной должна стать машина средней мощности, было ясно и Б. Рамееву. После освоения промышленного производства «Стрелы» он переехал в Пензу, где возглавил выпуск ряда ЭВМ «Урал». Первая из них, «Урал-1», содержала 800 электронных ламп и память на магнитном барабане. Затем последовали «Урал-2» и «Урал-4». В начале 1963 года независимо от американской фирмы ИБМ Б. Рамеев разработал основные концепции того, что сегодня называют ЭВМ третьего поколения. Эти концепции были положены в основу новой серии «Уралов»: «Урал-11»,

«Урал-14», «Урал-16». В течение 60-х годов «Уралы» и «Мински» представляли собой основной тип ЭВМ в нашей стране. Их было выпущено относительно много, и они заложили основу современной информационной индустрии.

Одновременно на Московском заводе САМ, а затем в Рязани выпускались БЭСМ, также в нескольких модификациях, и М-20. Обе эти мощные машины изготовлялись относительно небольшими сериями и предназначались главным образом для решения научных задач.

В конце 60-х и начале 70-х годов наша промышленность перешла на выпуск ЭВМ третьего поколения, получивших название Единой серии (ЕС). Для этой цели был создан Научно-исследовательский центр электронной вычислительной техники (НИЦЭВТ), объединивший большинство организаций, занимавшихся разработкой и выпуском ЭВМ, и периферийного оборудования не только в нашей стране, но и в странах — членах СЭВ. Первым генеральным директором НИЦЭВТа был назначен А. Ларионов, ученик С. Лебедева по Энергетическому институту и сотрудник М. Лесечко по СКБ.

КОГДА СОВЕРШАЛИСЬ РЕВОЛЮЦИИ?

Заканчивая краткий исторический экскурс, попытаемся ответить на такой вопрос. Можно ли указать на всем пути развития вычислительной техники, от первых попыток Паскаля и до наших дней, какие-либо узловые, революционные моменты?

Вряд ли справедливо будет считать таким моментом появление электронных вычислительных машин, то есть переход от реле к электронным лампам. Если бы не насущная потребность, возникшая в середине 40-х годов и объяснявшаяся в первую очередь необходимостью решения оборонных задач, можно было бы вообще не строить ЭВМ на электронных лампах, а подождать появления транзисторов, которые, к слову сказать, к тому времени уже были изобретены. Возможно, кое-кому подобная мысль покажется еретической, но ведь именно так поступили специалисты в технике связи. Автоматические телефонные станции продолжали строить на электромеханических реле, и только в самые последние

годы начался переход к электронным АТС. То же самое имело место и в некоторых других отраслях, например в автоматике и телемеханике железнодорожного транспорта.

Если говорить о революционных моментах, то, на наш взгляд, вычислительная техника пережила три такие революции. Первая относится к середине XIX века, когда в проект Бэббиджа были внесены некоторые идеи, реализованные лишь в XX веке. К числу этих идей следует отнести конструктивное разделение арифметического и запоминающего устройства; использование памяти большой емкости (в проекте Бэббиджа рассматривалась память емкостью тысяча чисел по 50 десятичных разрядов); работа с адресами и кодами команд; применение перфокарт для ввода и вывода данных и создание библиотеки программ.

Наиболее фундаментальным достижением Бэббиджа было изобретение команды условного перехода. Команда условного перехода позволяет на каждом шаге вычислений выбирать то или иное продолжение программы в зависимости от результата, полученного на предыдущем шаге. Команда условного перехода позволила полностью автоматизировать процесс вычислений или, рассуждая в кибернетических терминах, осуществить обратную связь между арифметическим устройством и устройством управления ЭВМ.

Второй революционный момент относится к 1946 году, когда американский ученый Джон фон Нейман на основе критического анализа конструкции ЭВМ ЭНИАК предложил новые идеи в организации ЭВМ, главным образом концепцию программы, хранимой в оперативном запоминающем устройстве.

Сегодня ЭВМ при решении одной задачи выполняет миллиарды отдельных операций. Каждая реализуется по одной команде, а последовательность команд составляет программу. Если бы количество команд в программе равнялось количеству фактически выполняемых операций, то есть измерялось миллиардами, программы оказались бы практически нереализуемыми. Создание ЭВМ потеряло бы всякий смысл.

Благодаря концепции фон Неймана над каждой командой, хранимой в оперативной памяти, можно выполнять такие же операции, как и над числами. Одна и

та же команда выполняется автоматически много раз подряд, но перед каждым очередным выполнением она частично изменяется (модифицируется). Только в таких условиях проблема построения программы стала осуществимой.

Первая ЭВМ с хранимой программой была создана в Великобритании в 1949 году (машина ЭДСАК, конструктор М. Уилкс). В США серийный выпуск ЭВМ с хранимой программой (машина УНИВАК, проект Дж. Эккерта и Дж. Маучли) начался в 1951 году. Наши «Стрела» и БЭСМ, естественно, также относились к классу ЭВМ с хранимой программой. Таким образом, разрыв между отечественной вычислительной техникой, которая в своем начальном периоде развивалась совершенно независимо, и вычислительной техникой Великобритании и США составлял в те времена неполных три года. В отдельных решениях, например в конструировании оперативных запоминающих устройств на электронно-лучевых трубках, мы опережали ведущие западные страны.

Третьим революционным моментом в истории вычислительной техники можно считать появление и развитие технологии больших интегральных схем. Начиная с этого момента у ЭВМ появилась способность к самовоспроизводству. Нелишне напомнить здесь, что информатика пронизывает все стороны нашей жизни и деятельности, а значит, представляет собой массовое явление. Способность больших интегральных схем к самовоспроизводству во многом определяет именно массовость технических средств информатики.

ЧТО ТАКОЕ ЭВМ?

Любая современная ЭВМ состоит из двух основных четко разделенных комплексов: технических средств и программного (правильнее бы сказать информационного) обеспечения. В этом смысле в ЭВМ используются те же организационные принципы, что и в живой клетке или промышленном предприятии. Все это, очевидно, так и должно быть. Интересно, что на первых порах существования ЭВМ программному обеспечению уделялось недостаточно внимания. Это повлекло за собой много

неприятностей и, в частности, существенно задержало развитие вычислительной техники. Почему так получилось? Причина была вот в чем.

Технические средства, или, в просторечии, «железо» (англичане и американцы до сих пор говорят «hardware», что в дословном переводе означает «скобяной товар»), есть нечто весомое, ощутимое, то, что смело можно назвать продукцией, за что можно платить деньги. А что такое иформация? К пониманию того, что информация также представляет собой физическую сущность, продукцию, производимую в результате выполнения технологических процессов, человечество пришло в самые последние годы. Отсюда и недооценка роли информационного обеспечения. К счастью, все это в прошлом.

Сейчас наблюдается тенденция передачи техническим средствам части (подчас большой) функций программного обеспечения. Значит, количество информации, содержащейся в ЭВМ, уменьшается? Наоборот, оно неуклонно увеличивается по мере совершенствования и развития самих ЭВМ. Просто сказывается естественный процесс концентрации информации, о котором мы еще будем иметь повод поговорить подробнее.

Итак, современная ЭВМ — совокупность комплексов технических средств и программного обеспечения. Комплекс технических средств, в свою очередь, подразделяется на три системы: систему памяти, систему, занимающуюся собственно переработкой информации, и систему, обеспечивающую обмен информацией с внешней средой. Схематически структура ЭВМ представлена на рисунке 4.

Система памяти — важнейшая. В памяти хранится как информация, подлежащая переработке, так и информация, управляющая самой переработкой.

Количество информации, с которой имеет дело ЭВМ, огромное. Сегодня самой употребляемой единицей количества информации применительно к ЭВМ стал так называемый байт. Байт — это группа из восьми двоичных символов (двоичный символ принимает одно из двух возможных значений, скажем, либо 0, либо 1). Следовательно, каждый байт представляет собой результат выбора одной из 256 возможностей. Количество информации, заключенной в байте, равно соответственно 8 бит.

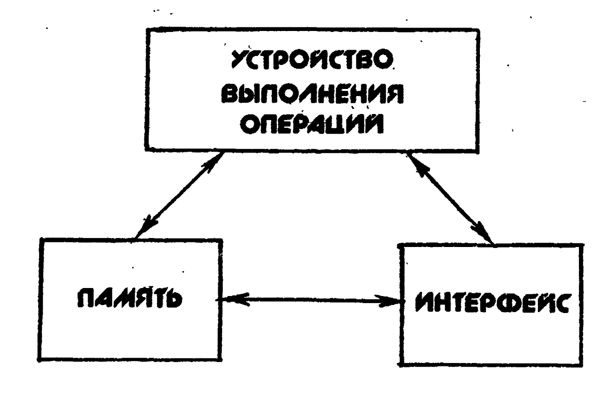


Рис. 4.

Во второй беседе мы стремились показать, как буквам латинского алфавита поставить в соответствие группы из пяти двоичных символов. Количество возможностей при этом ограничивалось 32. Если использовать не только строчные, но и прописные буквы, количество возможностей удваивается. Потребуется группа из шести двоичных символов (64 возможности): XXXXXX (где X может быть либо 0, либо 1).

Желание оперировать, кроме букв алфавита, арабскими цифрами, служебными знаками, в том числе знаками, обозначающими математические операции, и часто встречающимися в научной литературе греческими буквами, требует удвоить это количество. Итого семь двоичных символов, то есть выбор одной из 128 возможностей. Для сравнения укажем, что современная пишущая машинка японской фирмы «Брозер» печатает на бумаге 96 различных знаков.

Восьмой двоичный символ байта используется для контроля. Как конкретно это делается, мы опишем дальше. А пока ясно, что байт соответствует знаку некоторого расширенного алфавита. Условно назовем его алфавитом научно-технической литературы.

Вернемся к памяти. Объем памяти даже небольших ЭВМ, которые все еще принято называть микроЭВМ (хотя оснований для использования приставки «микро» все меньше и не потому, что машины становятся больше, а, наоборот, относительно крупные машины посте-



Рис. 5.

пенно отмирают, как это в свое время произошло с динозаврами), измеряется сегодня миллиардами байт, или гигабайтами, сокращенно Гбайт.

Здесь опять надо сделать оговорку. Часть памяти ЭВМ реализуется на магнитных дисках и магнитных лентах. Магнитный диск или катушка с магнитной лентой снимается с соответствующего устройства и хранится в шкафу. В этом смысле объем памяти ЭВМ ограничивается только вместимостью шкафа. Но это не все, ЭВМ с каждым днем все чаще становится членом большого коллектива. Их соединяют между собой в разветвленные сети или подсоединяют к телефонным сетям, обеспечивая доступ к разного рода хранилищам информации. Видимо, в недалеком будущем любая ЭВМ получит доступ ко всей накопленной информации в национальных или даже глобальных масштабах.

Тем не менее нужно чем-то ограничиться. Поэтому будем считать памятью конкретной ЭВМ лишь ту часть памяти, к которой можно обратиться непосредственно без замены диска или катушки с лентой или без обращения в центральное хранилище по каналу связи. Объем такой памяти измеряется гигабайтами.

Для удобства обращения к столь большим объемам требуется систематизация информации. Поэтому память

современной ЭВМ, как правило, имеет иерархическую структуру (рис. 5). Она напоминает своеобразную пирамиду. У острия пирамиды располагается часть памяти относительно небольшого объема и в то же время наиболее доступная — обращение к ней требует минимальных затрат времени. По этой причине часть памяти, расположенную у острия пирамиды, обычно называют оперативной или даже сверхоперативной.

Несколько слов о терминологии. Устройства памяти ЭВМ называют запоминающими устройствами, сокращенно ЗУ. Для оперативной памяти используется общепринятое на сегодня сокращение ОЗУ, а для сверхоперативной памяти соответственно СОЗУ. В основании пирамиды расположены большие объемы информации, обычно не имеющие непосредственного доступа.

Важное значение имеют способы обращения к памяти. Оперативное и сверхоперативное запоминающие устройства, как правило, допускают обращение за одним-единственным байтом, хотя часто за один раз передаются большие порции информации, состоящие из нескольких байт. Наоборот, передача информации внутри памяти между разными иерархическими уровнями производится крупными информационными блоками по нескольку сотен или тысяч байт. Здесь напрашивается аналогия с существующими системами материально-технического снабжения. На пути от производителя к потребителю товары почти всегда минуют целую последовательность складов. Эффективность обращения к памяти, иначе говоря, количество труда, которое затрачивается на то, чтобы найти и извлечь нужную порцию информации, определяется степенью ее организации.

Вторая важная система ЭВМ осуществляет собственно переработку информации. В связи с этой системой существует крупная, до сих пор до конца не решенная проблема — соотношение между степенью универсальности и степенью специализации.

НИТЬ ПОКОЛЕНИЙ

К настоящему времени сменилось уже четыре поколения ЭВМ, и сегодня мы являемся свидетелями зарождения пятого поколения. Какие характерные черты

определяют каждое из поколений? Элементная база, архитектура технических средств, возможности и принцип организации программного обеспечения. ЭВМ первого поколения строились на вакуумных электронных лампах. Архитектура простейшая: одно устройство памяти, одно так называемое арифметическое устройство и несколько примитивных устройств, предназначенных для ввода и вывода информации.

Несмотря на то что ЭВМ первого поколения считались универсальными (что отражалось, в частности, в названиях некоторых из них, например ЮНИВАК), они были узко специализированы на решении математических, а еще точнее, на решении задач вычислительной математики. Соответственно система переработки информации ограничивалась выполнением двух или четырех арифметических действий и некоторых логических операций, например операций сдвига числа вправо или влево. Системное программное обеспечение у ЭВМ первого поколения практически отсутствовало.

Для ЭВМ второго поколения, элементной базой которых стали полупроводниковые приборы — диоды и транзисторы, характерно появление зачатков системного программного обеспечения. Появились алгоритмические языки, существенно облегчившие общение ЭВМ с пользователем, и автоматические средства перевода с этих языков на внутренний язык машины. Начали создаваться и заноситься в память ЭВМ библиотеки стандартных программ, такие, к примеру, как программа решения систем линейных алгебраических уравнений, программа сортировки массивов данных (простейший пример — расположение списка фамилий по алфавиту) и т. п. Все это стало возможным благодаря включению в архитектуру ЭВМ устройств массовой памяти на магнитных дисках с относительно высоким быстродействием.

Что касается системы переработки информации, то она по-прежнему ориентировалась в основном на выполнение четырех арифметических действий и называлась арифметически-логическим устройством (АЛУ).

ЭВМ второго поколения уже достаточно широко использовались для решения задач обработки данных. Самый типичный пример — организация всевозможных каталогов, организация бухгалтерского учета или учета

наличия товаров на складе, различных видов отчетности. Несмотря на это, основной и чуть ли не единственной профессией ЭВМ все еще считалось решение задач вычислительной математики.

Это весьма примечательное обстоятельство характерно для переживаемой нами второй научно-технической революции. Во многих областях наблюдается такое положение, когда возможности создаваемых человеком научных методов и технических средств значительно опережают осознание обществом этих возможностей. Так, в частности, применительно к ЭВМ второго поколения начисто отвергалась их способность решать любые задачи, относившиеся тогда к классу интеллектуальных. И это невзирая на то, что ЭВМ второго поколения уверенно обыгрывала в шашки своего создателя.

Переход от второго поколения к третьему сопровождался более радикальными переменами, чем при переходе от первого поколения ко второму. Использование в качестве элементной базы интегральных схем малой степени интеграции привело к тому, что габариты ЭВМ, а главное, количество потребляемой энергии, уменьшились по сравнению с первым поколением в сотни и тысячи раз.

Пожалуй, никакая другая отрасль техники не испытывала подобных резких изменений параметров. Например, скорость автомобиля за время его существования возросла не более чем в двадцать раз, а потребление горючего на сто километров пробега уменьшилось всего в несколько раз. Основные характеристики ЭВМ, такие, как быстродействие и объем памяти, при переходе от первого поколения к третьему улучшились в сотни, а где-то и в тысячи раз.

Существенные изменения претерпела и архитектура. В ЭВМ третьего поколения впервые использовалась концепция канала, позволяющего соединять между собой, а также с внешней средой различные сочетания устройств. Благодаря этому пользователь получил возможность иметь в своем распоряжении в наибольшей степени устраивавшую его конфигурацию технических средств. Эта конфигурация могла наращиваться по мере возрастания требований, если такое имело место.

Интересное сочетание, казалось бы, противоречивых требований к универсальности и специализации! Что можно заключить непосредственно из сказанного?

С одной стороны, архитектура ЭВМ третьего поколения допускала специализацию конфигурации по отношению к конкретным потребностям данного пользователя. С другой стороны, архитектура обладала высокой степенью универсальности, поскольку изменение конфигурации не сопровождалось никакими другими действиями, кроме приобретения и подключения к каналам соответствующих устройств.

На наш взгляд, самым значительным было то, что в ЭВМ третьего поколения впервые использовался принцип микропрограммирования. На этом стоит остановиться подробнее.

К моменту появления ЭВМ третьего поколения, то есть примерно к началу 60-х годов, стало совершенно ясно, что задачи вычислительной математики составляют относительно небольшую часть от общей массы задач, решаемых ЭВМ. Более того, удельный вес таких задач явно проявляет четкую тенденцию к уменьшению. Это повлекло за собой пересмотр номенклатуры операций, выполняемых системой обработки информации. Но каким должен быть перечень операций? Оказалось, вопрос этот весьма непрост.

Три операции — И, ИЛИ, НЕ — Булевой алгебры (ее называют также алгеброй логики) обладают замечательным свойством функциональной полноты. Что это значит? Комбинируя по-разному эти операции и составляя их последовательности, можно организовать любой, без каких-либо ограничений, процесс переработки информации, будь то решение математических задач, доказательство теоремы, управление производством, игра в шахматы или сочинение стихов. Следовательно, устройство, способное выполнять три операции Булевой алгебры, является универсальным (причем наиболее универсальным из всех возможных) устройством для переработки информации. Но...

Беда в том, что наличие такого устройства потребовало бы отдельных указаний на выполнение каждой операции И, ИЛИ, НЕ. Объемы последовательностей указаний возросли бы до необозримых размеров. Поэтому в машинах первого и второго поколений операции

Булевой алгебры объединялись в относительно большие группы, позволяющие сразу, на основании одного-единственного указания, или, как говорят специалисты по вычислительной технике, по одной команде выполнять, скажем, операцию сложения двух чисел.

Забавная подробность. Устройство, способное выполнять хотя бы сложение и вычитание, вообще говоря, может довольно многое. Например, с его помощью можно осуществить часто встречающуюся в задачах обработки данных процедуру сортировки. Достаточно объектам списка, подлежащего упорядочению, поставить в соответствие некоторые числа. Например, в простейшем случае упорядочения по алфавиту букву «а» обозначают числом 1, букву «б» — числом 2 и так далее, а затем вычитают одно слово из другого. Если разность положительная, то есть первому слову соответствует большее число, а второму меньшее, их надо поменять местами. Если разность отрицательная, последовательность этих двух слов списка сохраняется. Если разность равна нулю, то слова просто идентичны.

Согласитесь, что все это очень неудобно. Гораздо проще иметь одну операцию упорядочения, которая выполняла бы все описанное без предварительной подготовки. Снова возвращаемся к тому, с чего начали обсуждение. Чем больше перечень операций, тем сложнее сама система переработки информации и сложнее работа с ним, хотя бы потому, что надо постоянно помнить все возможности. Однако сокращение перечня операций делает ЭВМ более специализированной — удобной для меньшего числа потенциальных пользователей.

Какой же выход из подобной, в известном смысле парадоксальной ситуации? Выходом стал принцип микропрограммирования. Система переработки информации, сколь сложна бы она ни была, составляется в основном из элементов, способных выполнять простейшие операции Булевой алгебры. Кроме того, в состав системы входит постоянное запоминающее устройство (ПЗУ). Задача ПЗУ сводится к следующему. На его вход поступает команда, то есть указание выполнять некоторую, подчас сложную операцию, например перемножить два многозначных числа, упорядочить список, состоящий из данного количества элементов, отыскать

в словаре русский эквивалент английского слова и т. п. В ответ на эту команду из ПЗУ извлекается последовательность сигналов. Они приводят в рабочее состояние нужную группу из общего числа логических элементов, а также выполняют заданные межсоединения этих элементов.

Иными словами, с помощью ПЗУ каждой команде ставится в соответствие требуемая комбинация операций Булевой алгебры. ПЗУ вместе с его содержимым можно заменять. Таким образом, пользователь способен не только подобрать для себя требуемую конфигурацию технических средств, но и иметь систему обработки данных, список операций которой в наибольшей степени отвечает его потребностям. Например, при слежении за траекториями межпланетных космических станций и корректировках этих траекторий довольно часто приходится переходить из одной системы координат в другую. Такой пересчет координат может выполняться в бортовой ЭВМ межпланетной станции в форме одной-единственной операции.

Принцип микропрограммирования, непрерывно совершенствуясь, вошел и в четвертое, и в пятое поколения.

СКЛАДЫ ПРОГРАММ

Средства программного обеспечения ЭВМ третьего поколения разрослись до гигантских размеров. Развитие этих средств шло по трем основным направлениям.

Первое — создание библиотек. Стали говорить об ЭВМ, обученной вычислительной математике, или ЭВМ-бухгалтере. Более того, ЭВМ третьего поколения дали возможность поставить и успешно решать задачи создания объединенных отраслевых и даже национальных фондов стандартных программ.

Второе направление связано с созданием сервисных средств, в число которых входят трансляторы с различных алгоритмических языков (общее число которых, заметим, к настоящему времени достигло нескольких тысяч), разнообразные редакторы и компоновщики программ, дающие возможность составить единую программу из фрагментов, написанных на разных языках разными людьми и даже в разных странах. Сюда же от-

носятся программные средства организации общения ЭВМ с пользователем.

К третьему направлению относятся программные средства организации процесса обработки информации, которые до сих пор по инерции продолжают называть вычислительными. Так и подмывает поразмышлять о том, насколько быстро в наши дни развивается техника. Термин, родившийся каких-нибудь двадцать лет тому назад, сегодня становится архаизмом. Существенное значение в этой группе играют программные средства, обеспечивающие реализацию режима разделения времени, режима, обеспечивающего одновременное обращение к ЭВМ большого числа пользователей.

ЭВМ четвертого поколения строятся на основе больших интегральных схем (БИС). В них в полной мере используется принцип микропрограммирования и особого развития достигли средства программного обеспечения. Для ЭВМ этого поколения характерны многомашинные и многопроцессорные системы, содержащие несколько параллельно работающих систем обработки информации.

У ЭВМ четвертого поколения есть еще много примечательных отличительных особенностей, но всему свое время. Мы и без того слишком увлеклись проблемой преемственности поколений. Пора вспомнить, что разговор о поколениях начался с того, что, обсуждая свойства системы обработки информации, мы коснулись того исторического процесса, в котором формировались эти свойства.

Подведем итог. Противоречия между стремлением обеспечить каждому пользователю максимум удобств за счет специализации и стремлением сделать ЭВМ пригодной для наибольшего числа пользователей (которые могут обращаться к одной и той же ЭВМ в режиме разделения времени) за счет повышения степени универсальности нашли свое разрешение при использовании принципа микропрограммирования. Каждая конкретная система переработки информации характеризуется своим набором выполняемых операций, но наборы эти по желанию можно менять, заменяя ПЗУ вместе с его содержимым.

Третья составная часть ЭВМ любого поколения (весьма примечательно, что смена поколений, сопровождавшаяся драматическими изменениями отдельных характеристик, практически не сказалась на общей структуре ЭВМ, показанной на рис. 5) объединяется под общим названием интерфейс.

В отличие от большинства терминов, используемых в вычислительной технике, интерфейс оказался на редкость удачным, особенно для знающих английский язык. Интерфейс в дословном переводе с английского означает «лицом к лицу».

В чем состоит задача интерфейса? Осуществить взаимодействие ЭВМ, обращенной лицом к лицу по отношению к внешней среде. Внешняя среда, окружающая ЭВМ, весьма разнообразна, и соответственно разнообразны средства, объединяемые интерфейсом.

Современная ЭВМ получает информацию прежде всего от человека, пользующегося клавиатурой, подобной клавиатуре пишущей машинки. На сегодня это основной способ получения информации от человека, хотя уже давно ведутся успешные опыты по вводу информации с голоса. Мы уверены, что к 2000 году основным средством передачи информации к ЭВМ станет естественный обычный человеческий голос.

ЭВМ также получает информацию по телеграфным и телефонным каналам связи и по видеоканалам, причем по видеоканалам передается стандартное телевизионное изображение.

Третья возможность — это разнообразные датчики: давления, температуры, силы электрического тока, химического состава, да и вообще чего угодно. В этом смысле современная ЭВМ снабжена «органами чувств», причем этих органов бывает значительно больше, чем у человека.

Что входит в функции интерфейса? Во-первых, привести всю разнообразнейшую поступающую в ЭВМ информацию к некоторой единой форме. Во-вторых, организовать то, что называется протоколом обмена. В качестве примера рассмотрим случай, когда к ЭВМ обращаются по телефону. ЭВМ должна снять трубку, вы-

яснить, кто говорит, и после этого принять и направить в нужное место памяти передаваемое сообщение.

Столь же разнообразны функции интерфейса, связанные с выводом информации. Чаще всего ЭВМ представляет человеку информацию в виде буквенно-цифрового текста и рисунков, отпечатанных на бумаге либо высвеченных на экране телевизионной трубки, — такие экраны получили название дисплеев. Здесь также в самом скором времени большое значение приобретет вывод голосом. Подобные системы существуют и успешно работают. Трудно сказать, сколь широкое распространение получит вывод голосом. Объясняются эти сомнения тем, что при общении с ЭВМ существенное значение часто имеет документирование получаемой информации.

Как и в случае ввода, ЭВМ может передавать данные в любой форме по любым каналам связи. Опять-таки стоит помянуть протокол. Так, передавая данные по телефону, ЭВМ сначала должна набрать соответствующий номер и убедиться, что на противоположном конце провода сняли трубку. Не думайте, что протокол требуется лишь при использовании телефонных каналов. Любой акт обмена информацией должен быть регламентирован, а любая последовательность таких актов составляет протокол.

Информация от ЭВМ передается различным исполнительным органам. ЭВМ управляет производственными процессами, и в каждом конкретном случае исполнительный орган есть то, что воздействует на процесс. Задачи интерфейса приобретают особое значение в связи с развитием промышленных роботов. Ввод информации в ЭВМ осуществляется от комплекса устройств, объединенных под общим названием технического зрения, а выводимые из ЭВМ данные управляют электрическими «мускулами» рук роботов.

В задачи интерфейса входит также наведение строгого порядка между всеми корреспондентами ЭВМ, которых может быть несколько тысяч. При этом случается, что кто-то из корреспондентов не имеет опыта общения с ЭВМ. Тогда интерфейс берет на себя функции обучения, задает наводящие вопросы до тех пор, пока не будет получена требуемая информация.

Интерфейс современной ЭВМ представляет собой

сложную систему, содержащую разнообразные технические средства и развитое программное обеспечение. В системах третьего поколения для выполнения функций интерфейса использовалась самостоятельная ЭВМ, так называемый коммуникационный процессор.

КАК ОНИ ПОХОЖИ!

Так мы познакомились со структурой современной ЭВМ и можем сравнить ЭВМ с живой клеткой. Сходство оказывается поразительным.

Живую клетку можно рассматривать как состоящую по меньшей мере из трех частей. Первая часть — память, которая в клетке также имеет иерархическую структуру. Молекулы ДНК, размещенные в хромосомах, реализуют долговременную массовую память клетки. Интересно, что даже объемы совпадают довольно хорошо. Объем памяти хромосом у развитых организмов измеряется гигабайтами с тем отличием, что в биологических системах байт состоит не из восьми, а из двух двоичных символов, поскольку каждый нуклеотид представляет результат выбора из четырех возможностей.

Функции оперативной памяти выполняют молекулы иРНК. Как и в случае ЭВМ, информация здесь хранится в течение относительно небольших отрезков времени и после использования уничтожается. Передача информации между иерархическими уровнями памяти в клетке и в ЭВМ совершается одинаково.

Роль системы переработки информации в клетке выполняют рибосомы. На первый взгляд представляется, что номенклатура выполняемых операций у рибосом гораздо беднее, чем у системы переработки информации ЭВМ. По существу, в клетке выполняется одна-единственная операция, сводящаяся к тому, что очередному триплету РНК ставится в соответствие одна аминокислота. Однако подобная операция есть не что иное, как Булева операция И, выполняемая над тремя переменными (тремя составляющими триплета). Добавьте к тому же обязательно выполняемые правила комплементарности, и станет ясно, что выполняется не только операция И, но и операция отрицания (при желании

аденин можно считать отрицанием тимина, а гуанин отрицанием цитозина и наоборот). Какой вывод?

Операции, выполняемые на рибосомах, обладают функциональной полнотой. Комбинируя их (а именно это и делается при репликации РНК и синтезе белков), можно осуществить любой процесс переработки информации. Так же, как в ЭВМ, в клетке каждая операция выполняется на основании команды. Функции команд берут на себя ферменты. Наконец, следует отметить явное сходство между транспортными РНК и ПЗУ в ЭВМ, обеспечивающими переход от команд к микрокомандам. Последовательность команд в клетке задается перемещением вдоль РНК. В биологии имеется такой термин — трансляция. Это комплекс операций, состоящий в актах перемещения вдоль РНК, сопровождающихся транспортировкой и подсоединением очередной аминокислоты к уже построенному полипептиду. Аналогичный термин принят и в вычислительной технике.

Что выполняет в живой клетке функции интерфейса? Рассматривая операции по синтезу полипептидов на молекулах РНК, мы не уделили внимания обмену информацией между клеткой и внешней средой. Такой обмен не только существует, но и поражает своим разнообразием. Как правило, обмен информацией совмещается с обменом химическими веществами и в общем случае известен под названием метаболизма.

Основную роль в реализации метаболизма играют клеточные оболочки — мембраны. Однако известно много случаев, когда связь клетки с внешней средой сводится к чисто информационному обмену. Это, во-первых, нервные клетки.

Кроме того, приведем в качестве примера иммунный механизм живых организмов. Как он действует? Когда в организм попадают посторонние белки, иммунная система вырабатывает антитела. Антитела обладают поразительной способностью распознавать данный белок в любой сколь угодно сложной смеси.

Три объекта: живая клетка, промышленное предприятие и ЭВМ. Какой вывод напрашивается из их сравнения? В функционировании этих объектов много общего. Во всех случаях имеется некий генеральный план, описывающий структуру объекта и его назначение. Этот план, как правило, сам не участвует в отдель-

ных технологических процессах и хранится в условиях, обеспечивающих его защиту от воздействия внешней среды.

Деятельность каждого из объектов регламентируется специальными указаниями, или командами. В каждом случае команда содержит описание объекта, над которым должна выполняться операция, и последовательность действий, составляющих эту операцию. В каждом из трех случаев деятельность объекта совершается в условиях активного обмена с внешней средой, или метаболизма.

Стоит ли повторять, что в основе деятельности всех объектов лежит информация, или, как сейчас говорят, информационная база? Мы выстроили описание предшествующих примеров так, чтобы сущность и роль информации выступали достаточно выпукло.

Теперь о различиях. Продукцией промышленного предприятия является вещество или энергия. Конечно, выработка вещества сопровождается выработкой информации. Чем более организовано вещество, тем больше информации оно содержит. Представьте себе завод, вырабатывающий удобрения. Сопровождающая продукцию такого завода информация сводится к химическому составу продукта. Обычно это обстоятельство игнорируется, но оно сразу дает о себе знать, когда по тем или иным причинам химический состав продукции отличается от требуемого. Другую крайность представляет собой промышленное предприятие, выпускающее сложные приборы, где доля информации в выпускаемой продукции относительно велика. Отклонение информационного содержания от некоторого стандарта сказывается не только в том, что прибор плохо работает или не работает вообще, но и в том, что срок его службы оказывается меньше гарантированного. И еще одно интересное замечание. На любом предприятии функции отдела технического контроля, или, сокращенно, ОТК, а в современных условиях также и госприемки сводятся в основном к проверке именно информационного содержания продукции.

Продукцией ЭВМ является информация в чистом виде. Это не означает, что вещество и энергия здесь полностью отсутствуют. Информация немыслима без материальных носителей — это фундаментальное ее

свойство. Продукцией ЭВМ может быть либо бумажная лента с отпечатанным текстом (вещество), либо световое изображение на экране телевизионной трубки (энергия). В случае промышленного предприятия информация выполняет сопутствующую роль по отношению к веществу или энергии. В случае ЭВМ вещество или энергия играет сопутствующую роль по отношению к информации. Но отклонение от принятых стандартов, например использование плохой бумаги или передача выходных сигналов ЭВМ по телефонному каналу с высоким уровнем шумов, приводит к разрушениям информации.

С тех же позиций рассмотрим деятельность клетки и неизбежно придем к выводу, что клетка более универсальна. Информация, вещество и энергия как продукты деятельности клетки имеют приблизительно одинаковое значение. В качестве примера возьмем процесс взаимодействия бактериофага с бактериями. Бактериофаг — простейший организм, состоящий из белковой оболочки и внутреннего содержимого, которое представляет собой ДНК.

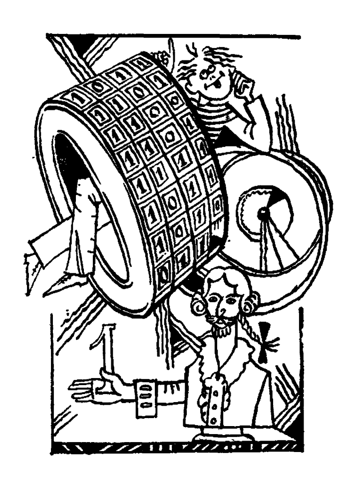
Что делает фаг? Во-первых, он распознает бактерии определенного вида. Речь идет о чисто информационном взаимодействии. Если в окружающей среде бактерий нет, то со стороны фага никаких других действий не следует. Если бактерии присутствуют, фаг прилепляется к оболочке бактерии, говорят, адсорбируется на ней. Были поставлены опыты с фагами. Они показали интересные результаты. Фаг одинаково охотно адсорбируется и на живых бактериях, и на пустых оболочках, лишенных содержимого. Можно сказать, что этот акт взаимодействия совершается при неполной информации.

Затем фаг вырабатывает специальный фермент, разрыхляющий оболочку бактерии. Иначе говоря, фаг способен вырабатывать вещество, но поскольку в отсутствие бактерии фермент не вырабатывается, ясно, что производство фермента начинается под воздействием информационной команды. На завершающем этапе белковая оболочка фага сокращается и вталкивает внутрь бактерии молекулу ДНК — вырабатывается энергия, но эта операция совершается после того, как внутрь фага поступила информация о том, что фаг адсорбирован на оболочке бактерии, а оболочка уже

вполне разрыхлена под воздействием фермента. Проводя аналогию с техническими устройствами, можно сказать, что фаг объединяет в себе ЭВМ и несколько исполнительных механизмов.

В литературе часто высказывается мнение, что в своей научно-технической деятельности человек многое заимствует у природы. В свое время провозглашалось появление специальной науки бионики, основной задачей которой считалось изучение различных механизмов, действующих в живой природе, и воспроизведение этих механизмов в искусственных системах. Нам представляется, что в утверждениях подобного рода нужно проявлять известную осторожность. Человек сам является частицей природы, и буде установлено, что любой природный объект, простой или сложный, живой или неживой, в основе своей содержит физическую сущность — информацию, то и многие фундаментальные процессы должны быть аналогичными. Это важнейшее обстоятельство мы и попытались осветить.

Вряд ли можно сказать, что человек создал радиолокатор, заимствовав принцип его действия у летучей мыши, которая ориентируется в темноте, посылая ультразвуковые сигналы и воспринимая их отражение от различных препятствий. Скорее, наоборот, после внедрения радиолокации человеку стало легче понять механизм ориентации летучей мыши. И уж совершенно очевидно, что принцип действия ЭВМ человек не заимствовал у живой клетки. Причина проста — к моменту появления первых ЭВМ почти все из того, что мы рассказали о клетках, еще не было известно. Только в 1953 году американский ученый Дж. Уотсон и англичанин Фрэнсис Крик построили модель молекулы ДНК. Однако наличие ЭВМ существенно помогает изучать процессы, происходящие в живых организмах.



Беседа пятая

МАГИЧЕСКИЙ КРИСТАЛЛ

О ПОЛЬЗЕ ТЕРПЕНИЯ

Согласно библейской легенде бог создал человека на шестой день творения. Он вылепил его из глины и вдохнул в него бессмертную душу. В свете того, что вы уже знаете о живых организмах, в этой легенде, кроме самого факта наличия бога, пожалуй, нет ничего фантастического. Все, что нужно, так это под словами «бессмертная душа» понимать молекулы ДНК, а под глиной — не чистую глину, а смесь, содержащую не столь уж большой перечень веществ, необходимых для синтеза аминокислот. Далее процесс развивался по стандартному пути всякого инженерного творчества. Бог скоро понял, что его система несовершенна (как и любой первый вариант новой инженерной конструкции), и, усыпив Адама, извлек у него ребро и изготовил женщину.

Такова каноническая версия легенды о сотворении человека. Но существуют другие варианты. Согласно одному из них, отделив тьму от света и твердь от хляби, иначе говоря, создав Солнечную систему, придав



Земле неповторимый рельеф и заселив Землю растениями, бог сотворил женщину. Он поселил ее в прекрасном саду, где она грелась на солнышке (для этого понадобилось отделять свет от тьмы), наслаждалась журчанием ручейков (для этого понадобилось отделять твердь от хляби) и вкушала от плодов земных (для этого и нужны были растения). Женщина была счастлива. Три дня. На четвертый день она воздела руки к небу и взмолилась всевышнему:

— О боже, — сказала она, — ты создал меня слабой и беззащитной, мне страшно в этом саду, особенно по ночам, любой может обидеть меня. Создай существо, которое бы меня защищало!

И бог создал тигра. Днем тигр сопровождал женщину в ее прогулках, а по ночам укладывался у входа в пещеру, где она спала. Женщина была счастлива. Три дня. На четвертый день она воздела руки к небу и взмолилась всевышнему:

— О боже, — сказала она, — ты наделил меня пытливым умом, который все время требует пищи для размышлений. А этот скучный тигр постоянно молчит. Создай существо, которое бы меня забавляло!

И бог создал обезьянку. Обезьянка прыгала с ветки

на ветку, иногда повисала на хвосте, делала уморительные гримасы. Женщина была счастлива. Три дня. На четвертый день она воздела руки к небу и взмолилась всевышнему:

— О боже, — сказала она, — ты наделил меня прекрасной бархатной смуглой кожей и нежной чувствительной душой. Ну что толку в этой мартышке, которая все время повторяет одни и те же гримасы? Создай существо, которое бы меня ласкало!

И бог создал змею. Змея восхищала женщину прекрасным зеленым узором, протянувшимся вдоль спины, обвивалась кольцами вокруг ее стройного стана. Женщина была счастлива. Три дня. На четвертый день она в кровь расцарапала морду тигру, и он в страхе убежал в кусты. Она надавала оплеух обезьянке и загнала ее на верхушку высокого дерева. Она наступила на хвост змее, и змея, шипя, уползла под камень.

— О господи, — взмолилась она всевышнему, — создай же наконец существо, которое бы все от меня вытерпело!

И бог создал мужчину.

ЗАЧЕМ?

Эта версия легенды о сотворении человека нас особенно устраивает потому, что в ней кроется ответ на вопрос: зачем вообще понадобилось создавать ЭВМ? Этот вопрос, по-видимому, особенно очевиден для тех, кто до сих пор продолжает считать, что ЭВМ не способна к творческому труду. Даже если принять за данное, что в части переработки информации ЭВМ, во всяком случае принципиально, может решать любую задачу, которую может решать человек (не скроем, что авторы этой книги придерживаются именно такой точки зрения), все равно остается вопрос: зачем создавать ЭВМ, а не предоставить человеку самому заниматься тем, что у него получается и подчас совсем неплохо?

Вопрос непростой. Различных аргументов как за создание искусственного разума, так и против его создания великое множество. Но есть соображение, достаточно очевидное. Человек в огромной степени под-

вержен влиянию внешней среды. Понизится температура его тела на каких-нибудь десять градусов — и ни о каком мышлении не может быть и речи. То же самое справедливо для нагревания, изменения состава воздуха и многого-многого другого. Одним из поводов создания ЭВМ и послужило стремление создать систему, которая вытерпела бы если не все, то, во всяком случае, гораздо большие изменения в окружающей среде, чем это возможно для человеческого организма.

Но из чего делать искусственный разум? Может быть, имеет смысл постараться скопировать живую клетку? Существует много сторонников метода создания инженерных конструкций путем копирования у живой природы. Строго говоря, с этого мы и начали. Конструкция игрушки «Мужик и медведь» и спроектированного нами аппарата для решения задачи о волке, козе и капусте основана на тех же исходных принципах, что и живая клетка.

Да-да, не удивляйтесь! И в том и в другом случае операции по переработке информации выполняются за счет перемещения в пространстве некоторых объектов. Только в наших устройствах перемещаются рычаги да защелки, а в клетке — молекулы.

Любое механическое перемещение — процесс относительно медленный. Подобный путь сразу показался инженерам недостаточно эффективным. Вспомните — женщина требовала быстрых реакций на свои капризы. С самой большой в природе скоростью распространяются электромагнитные поля, в частности, движется электрический ток. Без особых колебаний инженеры пришли к выводу, что, как сейчас говорят, носителями информации в ЭВМ должны быть явления электромагнитной природы. Электромагнитное явление, переносящее информацию, получило название сигнала.

Какому основному требованию должны отвечать электромагнитные сигналы для использования их в качестве переносчиков информации? Читатель уже достаточно подготовлен к тому, чтобы сразу ответить на этот вопрос. Должно быть несколько сигналов, отчетливо различающихся друг от друга. Точно так же, как отличаются друг от друга четыре нуклеотида, двадцать аминокислот, правое и левое положения рычажка. Пробле-

ма создания ЭВМ свелась к тому, чтобы научиться управлять электромагнитными явлениями и каждый раз получать какой-то один среди заданного разнообразия сигналов.

У себя дома вы управляете электромагнитными явлениями, а попросту говоря, зажигаете и гасите свет, включаете и выключаете телевизор. Делаете вы это с помощью выключателя, представляющего собой пару механических контактов, которые могут быть замкнуты или разомкнуты. В первых ЭВМ, которые условно отнесем к нулевому поколению, также использовались механические контакты. Они размыкались или замыкались при пропускании тока через обмотку электромагнита. Такая конструкция получила название электромагнитного реле.

Что любопытно? С помощью электромагнитных реле с одной-единственной парой контактов принципиально можно построить устройство, способное решать любые задачи по переработке информации. Электрические сигналы при этом имеют одно из двух значений. Например, контакт замкнут, ток течет — единица. Контакт разомкнут, ток не течет — ноль. Иными словами, с помощью реле создают электрические сигналы, передающие значения двоичных символов.

Реле с нормально замкнутым контактом реализует Булеву операцию НЕ. Действительно, ток течет в обмотке электромагнита (на входе обмотки единица), контакт разомкнут, и в его цепи ток отсутствует (на выходе цепи контакта ноль). В цепи обмотки электромагнита ток не течет (на входе ноль), контакт замкнут, в его цепи течет ток (на выходе единица). Два реле, контакты которых включены параллельно, реализуют операцию ИЛИ, а два реле, контакты которых включены последовательно, реализуют операцию И. Как говорится, что и требовалось доказать.

Операции, выполняемые электромеханическими реле над электрическими сигналами, составляют функционально полную систему. Следовательно, с их помощью можно создать устройство, способное решать любую задачу по переработке информации, в том числе творческую.

По всей вероятности, здесь стоит сделать небольшое отступление. Не кажется ли вам, что как-то уж очень легко мы расправляемся с понятиями «творчество», «мышление», «разум», сводя все к каким-то там замыканиям и размыканиям?

Ну что ж, попробуем порассуждать. Представьте себе на ваш выбор самый что ни на есть вдохновенный, самый что ни на есть творческий процесс. Не вдаваясь в то, как он совершается, мы тем не менее утверждаем, что результатом его будет либо некоторый написанный текст, либо устная речь, которую можно оформить в виде написанного текста, либо некая конструкция, которую всегда можно описать чертежами, либо, наконец, последовательность движений (например, в танце), которую можно зафиксировать с помощью кинопленки. Иначе говоря, результатом любого творческого процесса является документ. А любой документ всегда можно свести к последовательности электрических сигналов. Вы требуете доказательств?

Пожалуйста — телевидение. «Выходом» творческого процесса является последовательность двоичных сигналов. Еще точнее, выход творческого процесса описывается как последовательность двоичных сигналов. Все то же самое относится и ко «входу». Создавая нечто оригинальное, творец использует сведения, почерпнутые им из литературы, из наблюдения картин природы или произведений искусств. При желании этот перечень можно продолжить далеко, но если как следует подумать и к тому же не привлекать к рассуждениям всяческие внутренние голоса, то вывод будет однозначным. Все, что действует «на входе» процесса творчества, хотя бы принципиально, может быть тем или иным способом задокументировано, а значит, превращено в последовательность двоичных сигналов.

К чему сводится любой творческий процесс или, вернемся к более удобному для нас названию, любая задача по переработке информации? К преобразованию одной группы документов в другую группу документов. Следовательно, любая задача по переработке информации описывается средствами функционально полной Булевой алгебры. Нравится нам это или нет, мы вы-

нуждены, как говорят, склониться перед фактом. Иное дело, что сама последовательность применения отдельных операций Булевой алгебры может быть невероятно сложна. Вы еще увидите, как порождаются такие последовательности.

Сделав необходимое отступление, мы теперь уже с полной уверенностью приходим к выводу, что электромеханические реле вполне удовлетворили бы требованиям со стороны создателей ЭВМ, если бы не одно «но». Это «но» — наличие механических контактов, и потому недопустимо малая скорость срабатывания. По соображениям быстродействия, а также по соображениям надежности (все вытерпеть!), о которых речь впереди, от электромеханических реле отказались с первой попытки. Но зато теперь мы точно знаем, что нам нужно. Нам нужен аналог электромеханического реле, лишенный основного недостатка реле — малого быстродействия.

В ПЕРЕПОЛНЕННОМ ТРАМВАЕ

В отличие от природы, которая для своих целей использует клетки, наполненные жидкостью, мы поищем решение поставленной задачи с помощью твердых тел. Коли уж изобретать что-то новое, зачем возиться с сосудами для хранения жидкостей или газов, если бы нам пришлось их использовать?

Твердое тело без каких-либо там механических перемещений должно либо проводить электрический ток (контакты реле замкнуты), либо не проводить электрический ток (контакты реле разомкнуты). Чтобы придумать нечто этакое, нужно хорошо представлять себе, что такое проводимость и что такое вообще электрический ток.

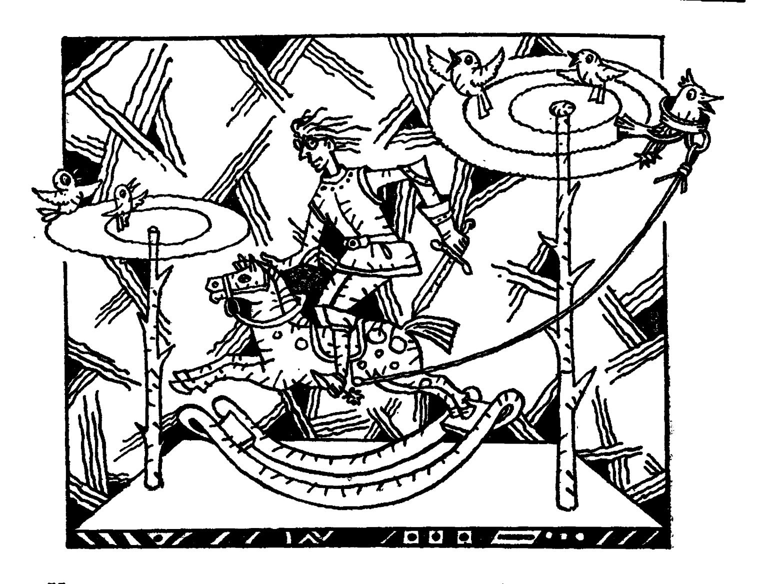
Обычно говорят, что электрический ток — это движение электронов по проводнику. Но согласитесь, подобное определение сродни утверждению о том, что по утрам солнце поднимается над горизонтом, а по вечерам опускается за горизонт. И в том и в другом случае слова «опускается», «поднимается», «движется» годятся только как удачные метафоры и только тогда, когда вы хорошо понимаете, что на самом деле кроется за этими словами.

Мы не устаем повторять: говорить про электрон, что он находится где-то, то есть имеет местоположение, или движется, то есть меняет свое местоположение на какое-нибудь другое, столь же наивно, как утверждать, что днем не нужно никакого солнца, ведь днем и без того светло. Пора наконец свыкнуться, принять как должное, что здесь не годятся никакие натяжки, никакие приближенные высказывания. Такова природа! Как ни трудно, следует принимать ее такой, какая она есть, а не пытаться растолковать через привычные нам представления то, что мы объяснить пока не в состоянии.

Природа электрона такова, что он по самой своей сути не имеет местоположения, точно так же, например, как чистый воздух, взятый в небольших количествах, не имеет цвета. Когда мы говорим: электрон принадлежит атому водорода, это означает лишь то, что суммарная энергия пары электрон — протон меньше, чем была бы суммарная энергия той же пары в случае, когда электрон не принадлежал бы атому. На языке физики слово «принадлежит» означает: обладает энергией, меньшей, чем в случае «не принадлежит». Только это, и ничего другого.

В обыденной жизни на вопрос: где? — мы привыкли отвечать: столько-то метров (сантиметров, километров, парсеков) от такой-то точки. На самом деле на вопрос: где? — надо отвечать: столько-то джоулей (эрг, электрон-вольт, килограммометров) от значения энергии, принятого за нуль, то есть за начало отсчета. Все это весьма необычно, но, не привыкнув рассуждать таким образом, вы просто не поймете ничего из того, что последует в этой беседе.

Твердое тело — давайте еще более сократим круг рассмотрений, — кристаллическое твердое тело, состоит из атомов, расположенных в строгом порядке. Атомы образуют своеобразный, подчас довольно сложный, но правильный узор, называемый кристаллической решеткой. Все электроны всех атомов в кристалле, каким бы большим он ни был, делятся на две основные группы. К первой относятся сильно связанные электроны, такие, энергия которых очень мала (энергия связи велика). Сильно связанные электроны не принимают никакого участия в интересующих нас процессах, поэтому мы без ущерба позабудем об их существовании.



Ко второй группе относятся слабо связанные, или валентные, электроны. Каждый валентный электрон принадлежит всему кристаллу. Вы не забыли наше напоминание? Применительно к кристаллу вопрос: где? (в бытовом понимании этого слова) — столь же бессмыслен, как вопрос: куда девается солнце, когда оно падает за горизонт? В кристалле, как и в атоме, на вопрос: где? — имеется один-единственный ответ: минус столько-то электрон-вольт энергии. Электрон-вольт — потому, что это самая удобная для описания атомных процессов единица измерения энергии, а минус — потому, что за начало отсчета (нуль) на шкале энергий принято считать энергию свободного электрона.

Что здесь важно? В кристалле любой электрон принимает не любое, а лишь одно из некоторого набора строго определенных значений, или, как говорят, уровней энергии. Напрашивается аналогия с лесенкой-стремянкой. Вы сидите на средней ее ступеньке, пересаживаетесь на ступеньку выше или ступеньку ниже, но не можете усесться между ступеньками. Так же и электрон. Занимает данное место, то есть имеет энергию столько-то электрон-вольт, может «пересесть» на одно

или несколько мест выше или ниже, но не может оказаться между уровнями.

Давайте немного отвлечемся от электронов. Поговорим о незыблемости физических законов. Многое из того, что на основании житейского опыта кажется нам незыблемым, на самом деле не является таковым.

В раннем детстве мы уверены, что все тела падают вниз, и расстаемся с этой уверенностью при первом же знакомстве с воздушным шариком. А потом — хуже того — нам приходится свыкнуться с мыслью, что существуют антиподы, висящие, с нашей точки зрения, вниз головой. Мы уверены, и в общем вполне справедливо, что завтра настанет утро. При этом мы знаем, что было время, когда утра не было по той простой причине, что не существовало Солнечной системы. Возможно, что то же самое случится в весьма отдаленном будущем.

Самым незыблемым среди законов «школьной» физики является закон сохранения энергии. Но и он допускает отклонения, правда, на кратчайшие промежутки времени. А вот закон, гласящий, что электрон не может принять значение энергии, не отвечающее одному из разрешенных уровней, отклонений не имеет. Во всяком случае, современной физике такие отклонения неизвестны. Образно говоря, даже прицепив к электрону трактор, вы не заставите его принять значение энергии, не соответствующее некоторому уровню. Все то же самое справедливо и применительно к принципу Паули, который (весьма кстати мы о нем вспомнили!) утверждает, что один и тот же энергетический уровень не может быть занят более чем одним электроном. Электроны в кристалле сидят, как птицы на телеграфных проводах, с тем дополнительным условием, что на каждом проводе не может быть более одной птицы.

Уровни энергии, или, как их иначе называют, разрешенные уровни, группируются в зоны. Нас интересуют две из них: валентная зона и расположенная выше нее свободная зона. Количество уровней в валентной зоне равно количеству валентных электронов в кристалле. При температуре абсолютного нуля все без исключения уровни валентной зоны независимо от вещества

кристалла, его формы, размеров и прочего заняты электронами.

А теперь давайте рассмотрим такую картину. Представьте себе, что вы стоите в хвосте переполненного трамвайного вагона и хотите выйти из него, причем соблюдая давно забытую традицию — обязательно через переднюю дверь. Ясно, что если вагон действительно переполнен, то есть даже с учетом деформации тел пассажиров в нем нет ни сантиметра свободного пространства, ваша задача неразрешима. Ведь для того чтобы обменяться местами с впереди стоящим пассажиром, требуется какое-то пространство. Больше того, предположим, вам не нужно самому выходить, достаточно, чтобы вышел кто-то, допустим, человек, стоящий около передней двери.

Как этого достичь? Казалось бы, просто. Вы толкаете своего соседа, тот соответственно толкает впереди стоящего, и так до тех пор, пока толчок не доходит до находящегося у передней двери и выталкивает его наружу. Но в истинно переполненном трамвае невыполнимо даже это. Чтобы толкнуть, надо хоть чуть-чуть, но подвинуться, а для этого требуется пространство.

Теперь скажем все то же самое, но другими словами. Находясь в трамвае, вы обладаете определенной кинетической энергией, двигаясь вместе с вагоном. Вы обладаете также потенциальной энергией, находясь в гравитационном поле Земли. Если трамвай движется на подъем, то потенциальная энергия стоящих впереди меньше, чем потенциальная энергия стоящих позади. Если вагон действительно переполнен, изменить величину своей энергии вы не можете.

То же самое происходит в валентной зоне кристалла. Каждый находящийся там электрон обладает определенной энергией, соответствующей занимаемому им уровню. Но если все без исключения уровни заняты, ни один электрон не может изменить свою энергию. Изменить свою энергию — значит занять соседний уровень (соседнее место). В трамвае этому мешает невозможность двум человеческим телам занять одно и то же пространство, а в валентной зоне кристалла это запрещено принципом Паули.

ЧТО ИЗ ЭТОГО ВЫТЕКАЕТ!

Что же представляет собой электрический ток? Каждый электрон, кроме энергии, обладает определенной величиной количества движения. Или, как часто говорят, определенной величиной импульса. Импульс — величина векторная. Он имеет не только численное значение, но и направление. В данной точке пространства плотность электрического тока отлична от нуля, или, говоря менее строго, через эту точку протекает электрический ток, если в ней отличен от нуля средний по всем электронам, составляющим рассматриваемую систему, вектор количества движения.

Пожалуйста, вдумайтесь в только что прочитанную фразу. Мы снова столкнулись с понятием среднего и далеко не случайно. Что значит получить среднее значение по множеству каких-то величин? Это значит сложить их все, а полученную сумму поделить на количество слагаемых. Количества движения, или импульсы, надо складывать по правилам сложения векторных величин. И очень может быть, что, складывая много отличных от нуля импульсов, вы в результате получите нуль (например, если все они равны по величине и взаимно противоположно направлены). Так оно чаще всего и бывает. А если средний импульс по множеству электронов отличен от нуля, это обязательно свидетельствует о том, что имеется некоторое преимущественное направление. Его и принимают за направление движения тока, а величину среднего импульса — за силу тока.

Электрический ток (если отбросить случай сверхпроводимости) никогда не течет, если отсутствует вызывающая его причина. Это также очень важное обстоятельство. Протекание электрического тока, во всяком случае в твердых телах, всегда сопровождается выделением тепла. Если бы ток протекал без причины, и тепло выделялось бы без причины, то есть бралось ниоткуда.

В валентной зоне кристалла все уровни заполнены электронами. Если в кристалле отсутствует причина для протекания тока (такой причиной обычно бывает электрическое поле), средняя величина импульса равна нулю. Ток не течет. Если в какой-то момент создать

такую причину, средняя величина импульса все равно останется равной нулю. Ведь для того чтобы она изменилась, нужно, чтобы изменился импульс хотя бы одного электрона. Но изменение импульса сопровождается изменением энергии, а это невозможно.

Следовательно, валентная зона кристалла, все уровни которой заполнены электронами, электрического тока не проводит.

КОШМАРНЫЙ ТРАМВАЙ

Представьте себе, что среди пассажиров переполненного трамвая затесался спортсмен. Ему надоело находиться в сдавленном состоянии. Он уцепился за поручень и подтянулся вверх. Пофантазируем еще чуточку и представим себе, что наш спортсмен выбрался на крышу трамвая. В трамвае это сделать затруднительно, а вот в крышах современных автобусов имеются вентиляционные люки, так что картина, которую мы нарисовали, не так уж и фантастична.

Как теперь все изменилось! В салоне трамвая появилось свободное место. Это место сразу дало возможность оставшимся пассажирам совершать различные движения. Тот, кто имел дело с игрой в «пятнадцать», знает, какие неисчерпаемые возможности для перемещения пятнадцати фишек таит в себе одна свободная клетка.

Давайте к тому же считать, что по-прежнему существует некая побудительная сила, благодаря которой все пассажиры стремятся переместиться вперед. Ясно, что при наличии одного свободного места перемещения пассажиров завершатся тем, что свободное место окажется у задней двери. Назовем это свободное место дыркой и резюмируем результаты наших наблюдений следующим образом. Если имеется причина (например, призывы водителя по переговорному устройству), побуждающая пассажиров двигаться вперед, то эта причина заставит дырку перемещаться до тех пор, пока она не окажется у задней двери.

Только не надо впадать в очень распространенную ошибку, которая, к сожалению, встречается даже в весьма солидных изданиях, в том числе и в учебниках.

В чем состоит эта ошибка? В том, что происшествие с дыркой описывается примерно так. Вот стоит пассажир (электрон), и перед ним — свободное место (дырка). Пассажир делает шаг вперед, и дырка оказывается за ним, перед следующим пассажиром. Следующий пассажир делает шаг вперед, оставляя после себя дырку, и т. д. Другими словами, шеренга пассажиров движется по линейке (вдоль траектории), и тот же самый путь, но в обратном направлении совершает дырка.

Картина, несомненно, привлекательная своей стройностью и определенностью, но так никогда не бывает даже в трамвае. Где вы видели, чтобы разновозрастные, разнохарактерные, по-разному одетые пассажиры вдруг превратились в солдат, шагающих по команде? Ничего подобного. Кто-нибудь, пожалуй, шагнет вперед, другой посторонится, чтобы дать ему пройти, третий отступит назад, туда, где притулилась его спутница, разлученная с ним толпой. Наконец, если вдруг среди пассажиров окажется человек воспитанный, он уступит место даме, и тогда эта дама, ранее участвовавшая в общем движении, вообще выйдет из игры, а вместо нее возникнет новый персонаж с новыми свойствами.

Так же все происходит и в мире электронов. Если в валентной зоне образовался хотя бы один свободный энергетический уровень, все до единого находящиеся там электроны совершают сколь угодно сложные манипуляции. Они в том числе могут исчезать и рождаться вновь. Электроны и вообще элементарные частицы очень любят исполнять такие трюки с исчезновением. Разумеется, подчиняясь при этом определенным законам. Пытаться проследить (хотя бы мысленно) за эволюцией отдельного электрона — задача безнадежная. Поэтому правильное описание изученного нами процесса может звучать только таким образом: при наличии в валентной зоне хотя бы одного свободного места и наличии побудительной причины, заставляющей электроны иметь некоторое преимущественное направление вектора среднего импульса, электроны начинают совершать чрезвычайно сложные манипуляции. Имеется единственная возможность описать эти манипуляции. Она состоит в том, чтобы ввести в рассмотрение некоторый объект — дырку. В описанных условиях дырка



имеет импульс, равный по абсолютной величине и направленный противоположно среднему импульсу электрона.

У нас есть большая просьба к читателю. Часто дырку пытаются считать некоторым мысленным, как бы несуществующим объектом в отличие от электрона — объекта реального. Наш пример с трамваем должен убедить в обратном. Дырка столь же реальна, как и электрон, ее поведение подчиняется строгим законам. Ведь не будете же вы считать несуществующим пузырек воздуха в воде или отверстие в сложной механической детали.

Когда вблизи задней двери трамвая образуется свободное место, кто-то, стоящий на остановке, может войти в вагон. Если к тому же некто, стоящий у передней двери, при этом выйдет, то мы можем утверждать, что пассажир (обезличенный) проник сквозь вагон. Причем сделал это мгновенно: передний выходил в то самое время, когда садился задний. Еще раз уподобив пассажиров электронам, мы получим все основания утверждать, что сквозь вагон прошел электрический ток. А обеспечила прохождение электрического тока дырка.

Итак, валентная зона кристалла, если в ней имеется хотя бы один не занятый электроном энергетический уровень, способна проводить электрический ток. Прохождение тока обеспечивается дырками. Поскольку при наличии одной и той же побудительной причины (для электронов такой побудительной причиной является электрическое поле) импульс дырки оказывается направленным в сторону, противоположную среднему импульсу электронов, есть все основания считать дырку положительно заряженным объектом.

Оговоримся еще раз — да простит нас читатель за надоедливость! — не надо представлять себе электроны и дырки движущимися внутри кристалла. Мы вообще не можем представить себе электроны. Для этого у нас пока еще не хватает изобразительных средств. Но если уж во что бы то ни стало пытаться нарисовать картину, то гораздо более близкой к истине, хотя тоже неверной, будет такая. Пассажир входит в заднюю дверь трамвая и исчезает. Исчезает потому, что у нас просто нет возможности проследить его судьбу в этом потном и жарко дышащем переплетении тел. Но в тот же самый момент родится пассажир, выходящий через переднюю дверь. Такова, как говорят ученые, наиболее адекватная картина прохождения электрического тока через кристалл.

Не зря мы назвали наш трамвай кошмарным. Что еще можно сказать о трамвае, заглатывающем пассажиров, которые затем исчезают? Внимание! Настоящие кошмары еще только начинаются! Мы совсем забыли о спортсмене, вылезшем на крышу. Благодать! Свежий ветерок, солнышко, а главное, полнейшая свобода: иди куда хочется. А поскольку есть побудительная причина, скажет проницательный читатель, то спортсмен бодрым шагом двинется в направлении к передней части вагона.

Двинется... и, как говорится, испортит нам всю музыку. Мы договорились с самого начала не использовать никаких движущихся частей, даже если эти части — электроны. К счастью, все происходит совсем не так. Сейчас нам предстоит познакомиться еще с одним универсальным законом природы, получившим название соотношения неопределенностей Гейзенберга.

Соотношение неопределенностей утверждает, что про-

изведение из неопределенности координаты любого физического объекта на неопределенность составляющей импульса этого объекта, направленной в ту же сторону, что и координата, не может быть меньше некоторой величины, называемой постоянной Планка.

Вернемся к электронам в валентной зоне кристалла. Их там бесчисленное множество, и все они связаны друг с другом и с атомными ядрами электростатическими силами притяжения и отталкивания. Стоит произойти чему-то хотя бы с одним электроном, как немедленно все остальные тоже изменят свои состояния. В таких условиях степень неопределенности импульса каждого электрона весьма велика. Лишь поэтому неопределенность координаты каждого электрона относительно мала. У нас по-прежнему нет оснований говорить, что электрон где-то расположен, но мы можем хотя бы надеяться, что, например, он не покидает пределов кристалла. Благодаря подобной неопределенности в импульсе подчас удается локализовать электроны более точно.

Иное дело пассажир на крыше трамвая. Читатель наверняка догадался, что пассажир на крыше подобен электрону в свободной энергетической зоне, куда можно попасть, увеличив свою энергию. Электрон в свободной зоне так же свободен, как и пассажир на крыше. Он ни с чем не связан. Поэтому очень вероятно, что побудительная причина (электрическое поле) данной величины сообщит электрону определенную величину и направление импульса. Но если импульс определен, то неопределенной становится координата электрона.

Наш злополучный пассажир оказывается размазанным вдоль крыши вагона. Мы снова столкнулись с чем-то таким, что не в силах себе представить. Размазан — не значит, что он увеличился в размерах. Просто он одновременно присутствует повсюду на крыше. Что-то из кошмарных картин Иеронима Босха, хотя мы боимся, что изощренной фантазии Босха здесь окажется недостаточно.

Да, не позавидуешь пассажиру! Наверное, это жуткое ощущение — быть повсюду и нигде. Но есть в этом и свои преимущества. Ему не надо бежать вдоль крыши, он и так присутствует и в начале и в конце вагона.

А теперь вывод: второй возможной причиной прохож-

дения электрического тока через кристалл является механизм, обеспечиваемый электронами в свободной зоне.

Отвлечемся немного в сторону, чтобы в очередной раз предостеречь читателя. К сожалению, бытует мнение, что некоторые законы современной физики, в частности соотношение неопределенностей Гейзенберга, проявляются только в микромире, то есть в мире очень малых размеров — мире атомов, электронов и других элементарных частиц. У многих это вызывает определенную реакцию: коли, мол, мы непосредственно с атомами дела не имеем, то и соотношение неопределенностей вкупе с другими аналогичными законами нам знать ни к чему.

Поводом к таким рассуждениям служит относительная малость постоянной Планка. Она оценивается нулем целых и затем числом, содержащим двадцать шесть нулей после десятичной запятой (10^{-27}). Что это значит? Если неопределенности координаты и импульса оцениваются примерно одинаковыми числами, то неопределенности импульса в одну десятитысячную от одной миллиардной доли граммсантиметра в секунду соответствует неопределенность в координате того же порядка, то есть одна десятитысячная от одной миллиардной доли. Слов нет, заметить такую величину весьма затруднительно. Не менее справедливо и другое утверждение. Если неопределенность в импульсе отсутствует (скажем, у покоящегося тела, его импульс попросту равен нулю), то неопределенность координаты становится равной бесконечности. А бесконечность — она всегда бесконечность и для электрона, и для пассажира, и для земного шара.

Почему в таком случае нам никогда не приходилось наблюдать пассажира, размазанного по крыше трамвая? По той простой причине, что такого объекта — пассажир, скажем больше того, такого физического объекта — человек, не существует. Да, да, не существует, хотите обижайтесь — хотите нет. Существует комплекс, состоящий из огромного количества молекул, каждая молекула при этом ведет себя как-то по-своему и при этом взаимодействует со многими другими молекулами. В таких условиях неопределенность импульса велика и соответственно мала неопределенность координаты. Поэтому мы и привыкли наблюдать себе подобных, как правило, в определенном месте.

Законы физики, в том числе и соотношение неопределенностей, действуют в макромире ничуть не хуже, чем в микромире. Кстати, само слово «микромир» не имеет смысла. Например, у электрона вообще нет никаких размеров, а значит, у нас нет оснований считать его ни большим, ни маленьким. Мы могли бы привести много примеров, когда соотношение неопределенностей обусловливает поведение весьма больших даже с нашей точки зрения объектов. Не будем, однако, делать этого, чтобы не уходить уж слишком далеко в сторону.

ПОЛУПРОВОДНИКИ

К какому выводу подводят нас столь увлекательные рассуждения? Электропроводность кристаллических твердых тел определяется взаимным расположением валентной и свободной энергетических зон. Чаще всего между верхней границей валентной зоны и нижней границей свободной зоны располагается промежуток, называемый запрещенной зоной. Если запрещенная зона широка (более трех электрон-вольт), ни у одного из электронов валентной зоны не хватает энергии, чтобы переместиться в свободную зону. Точно так же, как чемпион мира по прыжкам в высоту не может прыгнуть без шеста более чем на три метра. У таких веществ свободная зона пуста, валентная зона полностью забита электронами, и вещества эти представляют собой изоляторы. Тока они не проводят.

Противоположный случай — когда валентная и свободная зоны пересекаются. Здесь получаются как бы два трамвайных вагона в одном: один забитый пассажирами, второй пустой. Представить себе такое невозможно, но ясно, что свободных мест достаточно. Подобным свойством обладают металлы, а все металлы, как известно, хорошие проводники электрического тока.

Наконец, имеется обширный промежуточный класс веществ, у которых верхняя граница валентной зоны отделена от нижней границы свободной зоны промежутком запрещенной зоны, но промежуток этот относительно узок (от 0,1 до 3 электрон-вольт). Эти вещества называют полупроводниками. Из огромного перечня интереснейших свойств полупроводников отметим пока од-

но. Полупроводники проводят электрический ток, причем их электропроводность сильно зависит от температуры. А как же иначе? Чем выше температура, тем больше энергии теплового движения электронов, тем легче электронам запрыгнуть из валентной зоны в свободную.

Подобное свойство чистых полупроводников широко используется в измерительных приборах. На основе этого свойства удалось построить прибор, измеряющий количество тепла, содержащегося в световом луче, посланном с Земли и отраженном от поверхности Луны.

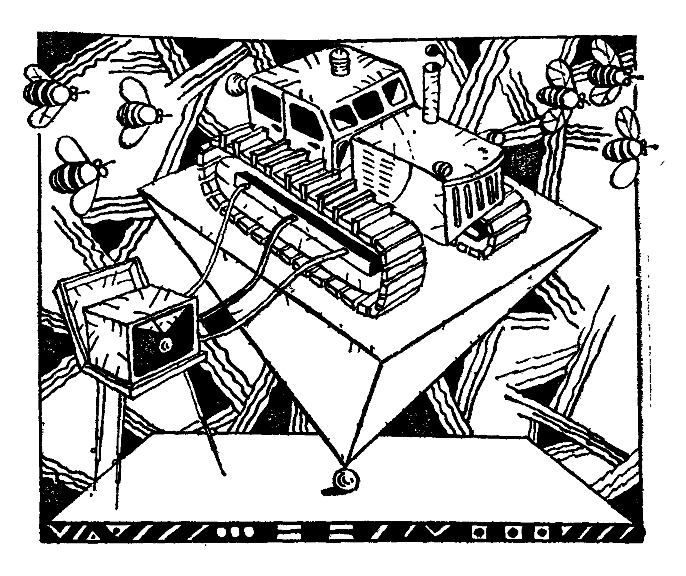
Все это очень здорово, но категорически не устраивает нас с вами. Вспомните, что девиз этой беседы — все вытерпеть! Вытерпеть, но не менять своих свойств в широком диапазоне изменения температур. А коли так, продолжим наши поиски.

ПРИНЦЕССА НА ГОРОШИНЕ

Свойством иметь четко выраженные энергетические зоны: валентную, запрещенную и свободную — обладают абсолютно чистые вещества. Картина существенно меняется, если основное вещество содержит примеси. Каждый атом примеси добавляет к уже существующим свой набор разрешенных энергетических уровней, и эти уровни, вообще говоря, располагаются где угодно, в пределах любой из зон. В частности, атом примеси может добавить один или несколько разрешенных энергетических уровней в пределах запрещенной зоны.

Становится совсем интересно, когда добавочный уровень оказывается расположенным очень близко (скажем, на расстоянии 0,01 электрон-вольта) либо от нижней границы свободной зоны, либо от верхней границы валентной зоны. В терминах нашей трамвайной модели первый случай эквивалентен тому, что в трамвае сделали дополнительную площадку под самой крышей и не нужно быть спортсменом, чтобы подняться с этой площадки на одну ступеньку вверх и оказаться на крыше — со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Второй случай, то есть когда дополнительный уровень оказался вблизи верхней границы (говорят, потолка) валентной зоны, вовсе прост. В переполненном трам-



вае каким-то чудом оказалось незанятое сиденье. Ясно, что его немедленно займут.

Примеси, дающие дополнительные уровни вблизи нижней границы (говорят, дна) свободной зоны, называют донорными. При температуре абсолютного нуля донорные уровни заняты электронами — это еще одно условие, накладываемое на вид примеси. Однако уже при самых небольших температурах, скажем 50 градусов Кельвина, все электроны с донорных уровней переходят в свободную зону. Полупроводник с донорной примесью называется электронным полупроводником, поскольку у него в свободной зоне имеются электроны, способные проводить электрический ток.

Так как уже при очень малых температурах все электроны с атомов примеси переходят в свободную зону (это называется истощением примеси), при дальнейшем увеличении температуры количество электронов не увеличивается. Задача, поставленная в конце предыдущего раздела, решена. Электропроводность примесного полупроводника в большом диапазоне изменения температур от температуры практически не зависит.

Раз уж мы заговорили о примесях, давайте поговорим о том, какое вещество вообще считать чистым. Ска-

зочная принцесса ощущала одну-единственную горошину через десяток тюфяков и перин. Бросив четверть чайной ложки (около грамма) поваренной соли в стакан воды, мы с полным основанием скажем, что вода соленая. А если крупинку (примерно миллиграмм) дегтя растворить в бочке меда? Ручаемся, этого не заметит самый придирчивый дегустатор.

Теперь давайте подсчитаем. Миллиграмму дегтя в бочке меда соответствует концентрация примеси в 0,0002 процента. Это очень мало, и обнаружить такую концентрацию примеси нелегко, даже пользуясь методами тонкого химического анализа. О том, чтобы обнаружить ее на вкус, не может быть и речи. Будем рассуждать иначе.

Для производства интегральных схем (читатель уже понял, что к ним-то мы и подбираемся) сейчас почти исключительно используется кремний. В кубическом сантиметре чистого кристаллического кремния содержится примерно 10^{22} атомов. Ширина запрещенной зоны у кремния составляет 1,07 электрон-вольта. Это довольно много. Поэтому при комнатной температуре (300 градусов Кельвина) только примерно десяти миллиардам электронов (10^{10}) удается совершить прыжок из валентной зоны в свободную. В чистом кремнии при комнатной температуре концентрация электронов в свободной зоне составляет 10^{10} на кубический сантиметр. Концентрация дырок имеет ту же самую величину, ведь, покидая валентную зону, каждый электрон оставляет там дырку.

Представьте себе, что к чистому кремнию добавили немного сурьмы, скажем, 10^{14} атомов на кубический сантиметр. Сурьма представляет собой донорную примесь, и каждый ее атом отдает в свободную зону один электрон. Концентрация электронов в свободной зоне становится примерно равной 10^{14} на кубический сантиметр, то есть в десять тысяч раз больше, чем у чистого кремния. Добавляя такую концентрацию сурьмы, увеличивают электропроводность кремния в десять тысяч раз.

Забегая вперед, скажем, что этого уже достаточно для достижения нашей главной цели. Сила тока пропорциональна электропроводности. Электрический ток некоторой величины условимся считать сигналом, передающим значение единицы Булевой переменной. Тогда ток,

в десять раз меньший, мы с полным основанием можем считать другим (отличным от первого) сигналом, передающим другое значение логической переменной.

Пока нам хотелось бы подчеркнуть другое. Десять в четырнадцатой степени атомов примеси в одном кубическом сантиметре кремния соответствуют концентрации в одну миллионную долю процента. Примерно в сто раз меньше, чем в нашем примере с миллиграммом дегтя. Так вот, такого ничтожного количества примеси достаточно, чтобы коренным образом изменить одно из свойств вещества, грубо говоря, превратить изолятор в проводник.

Все это весьма поучительно и наводит нас на размышления о том, какой должна быть технология производства полупроводниковых приборов, если приходится оперировать с концентрациями примеси порядка миллионных долей процента.

Не забыли ли мы о дырках? Нет, не забыли. Даже если бы в кремнии после добавления к нему сурьмы оставались те же самые 10^{10} дырок на кубический сантиметр, мы были бы вправе не заметить этого количества на фоне 10^{14} электронов в том же кубическом сантиметре. На самом деле в кремнии с примесью сурьмы дырок оказывается меньше, чем в чистом кремнии. Почему? Потому что теперь условия перехода из валентной зоны в свободную стали сложнее. Недостаточно накопить энергию, необходимую для перескока через запрещенную зону, надо еще отыскать в свободной зоне незанятый энергетический уровень.

Ура! Создана контактная пара без движущихся частей. Берете кусочек чистого кремния и подсоединяете к нему электроды. Тока он не проводит (или почти не проводит) — контакты разомкнуты. Добавляете крошечное количество примеси, ток пошел — контакты замкнулись. Причем совсем необязательно добавлять к кремнию сурьму, то есть донорную примесь. С тем же успехом можно добавить, скажем, алюминий.

Алюминий дает дополнительные уровни вблизи верхней границы (потолка) валентной зоны. При температурах порядка 150 градусов Кельвина электроны из валентной зоны переходят на эти уровни, оставив после себя соответствующее количество дырок.

Концентрация дырок в валентной зоне, а следова-

тельно и электропроводность, зависит от температуры, поскольку все дополнительные примесные уровни оказываются занятыми уже при очень малых температурах. Такой полупроводник называют дырочным. Но нам-то все равно, какую примесь добавлять. С точки зрения электропроводности 10^{14} дырок на кубический сантиметр в валентной зоне дадут тот же эффект, что и 10^{14} электронов в свободной зоне.

Теперь дело за малым. Не хватает только молекул тРНК, которые перетаскивали бы атомы сурьмы или алюминия в кремний и обратно, имитируя замыкание и размыкание контактов. Но мы же договорились не использовать движущихся систем! Просто рок какой-то тяготеет над нами. Пройти такой длинный путь, погрузиться в святая святых строения вещества и вновь столкнуться с необходимостью что-то там такое куда-то перетаскивать?! Ну что ж, давайте думать дальше.

ПОЛЬЗУЙТЕСЬ ПОДЗЕМНЫМ ПЕРЕХОДОМ

Когда долго не везет, надо попытаться «переломить» судьбу, иначе говоря, поступить наоборот. Нас не устраивает метод превращения изолятора в проводник за счет добавления примеси. Может, нам удастся сделать обратное, превратить проводник в изолятор? Ну что ж, попробуем. Поступим следующим образом.

Возьмем пластину кремния, содержащего относительно небольшое количество донорной примеси, то есть электронный полупроводник; поместим его в печь, содержащую пары алюминия, и нагреем до температуры чуть более тысячи градусов Цельсия. Под влиянием высокой температуры атомы алюминия приобретут энергию, достаточную для того, чтобы проникнуть на некоторую глубину в толщу кремниевой пластины. В результате получится как бы бутерброд. Нижняя часть пластинки по-прежнему представляет собой электронный полупроводник, а верхняя часть, в которой теперь преобладает примесь алюминия, представляет собой полупроводник дырочный.

Что произойдет сразу после образования дырочного слоя? Электроны в электронном полупроводнике участвуют в тепловом движении, перемещаясь в самых раз-

ных направлениях. Добавление новой примеси не должно как-то сказаться на поведении электронов. Среди них обязательно найдутся такие, которые пересекут границу и окажутся в области дырочного полупроводника.

Опять-таки следует оговориться, что применительно к электронам употреблять слово «движение» — незаконный прием. Говорим мы так просто потому, что у нас нет подходящего слова для описания электронов. С тем же успехом мы могли бы сказать, что электроны никуда не движутся, а исчезают в одном месте и появляются в другом. Это снова будет неверно, поскольку электрон не может находиться в данном месте. А раз не может находиться, значит, не может ни исчезнуть, ни появиться. Как же сказать правильно? После образования в пластине двух слоев: электронного и дырочного — с электронами электронного слоя начинает происходить некоторый процесс, для описания которого у нас не хватает слов. Результатом этого процесса является то, что средняя концентрация электронов в дырочной части увеличивается.

Уловили разницу между только что сделанным описанием и предыдущим? Средняя концентрация электронов обнаруживается нашими измерительными приборами. Она проявляется, например, как величина отрицательного электрического заряда. Говоря «концентрация электронов увеличивается», мы подразумеваем под этими словами реальный физический процесс, скажем, отклонение стрелки на шкале измерительного прибора. За словами «электрон движется» мы не видим ничего, так как не может двигаться то, что не имеет определенного местоположения. При желании процесс, сопровождающийся изменением концентрации электронов, можно назвать диффузией. Так он и называется в серьезных книгах, хотя, честно говоря, слово «диффузия» не вносит ничего нового.

Дальше все значительно понятнее. В верхней части пластинки оказываются одновременно большая концентрация дырок, обязанных своим появлением примеси, и большая концентрация электронов, обязанных своим появлением диффузии. Такое соседство долго продолжаться не может. Дырки и электроны начинают, как говорят, рекомбинировать. Если проще, то электрон из свободной зоны проваливается в валентную зону и за-

нимает там один из свободных уровней. В результате одна из дырок исчезает.

Происходит так до тех пор, пока в некотором слое, примыкающем к границе между электронным и дырочным полупроводниками, все дырки не рекомбинируют с электронами. Уровни валентной зоны в этом слое окажутся целиком заполненными. Но это еще не все. Электроны, диффундировавшие из нижней части пластинки в верхнюю, приносят с собой дополнительный отрицательный электрический заряд. После рекомбинаций этот заряд накапливается в приграничном слое и изгоняет оттуда (отталкивает) все непрорекомбинировавшие электроны.

Итак, на границе между электронным и дырочным полупроводниками в пластинке образуется слой, лишенный как дырок, так и электронов. Он называется обедненным слоем. Еще одно свойство обедненного слоя — то, что он несет в себе определенный электрический, в нашем случае отрицательный, заряд. Благодаря этому заряду между электронной и дырочной частями пластины устанавливается некоторая разность электрических потенциалов, говорят, потенциальный барьер.

Подобное образование вблизи границы между электронным и дырочным полупроводниками получило название *p-n*-перехода. Обычно ширина обедненного слоя в *p-n*-переходе имеет порядок от нескольких микрометров до нескольких долей микрометра.

Обедненный слой электрического тока не проводит. Он представляет собой изолятор. Но есть у него интересное свойство. Предположим, что некоторый электрон направляется (мы снова допускаем языковую вольность, но что делать, когда нет слов) из нижней половины пластины в верхнюю. Он мог бы и перепрыгнуть через обедненный слой, но этому препятствует потенциальный барьер. Грубо говоря, электрон отталкивается от отрицательного заряда обедненного слоя.

Иначе обстоит дело с электроном, направляющимся сверху вниз, из дырочной области в электронную. Мы забыли сказать, что диффузия электронов в обедненный слой сопровождается не только тем, что обедненный слой заряжается отрицательно. Уходя из электронной части пластины, электроны оставляют там нескомпенсированные положительные электрические заряды. Движущий-

ся сверху вниз электрон притягивается к этим зарядам и легко минует обедненный слой. Все сказанное справедливо и для дырок. Дырка, направляющаяся сверху вниз (мы имеем в виду структуру, показанную на рис. 7), отталкивается от положительного заряда электронной части пластины. Дырка, движущаяся снизу вверх, свободно минует обедненный слой.

Электроны и дырки в полупроводниках принято называть носителями — они как бы переносят электрический ток. Электроны в электронном полупроводнике называют основными носителями. Аналогичным образом основными носителями называют дырки в дырочном полупроводнике. Наоборот, дырки в электронном полупроводнике и электроны в дырочном полупроводнике называют неосновными носителями. С учетом подобной терминологии все сказанное формулируется в виде следующего утверждения: обедненный слой *p-n*-перехода непроницаем для основных носителей и проницаем для неосновных носителей.

Кое-что начало проглядываться. Мы получили структуру, которая может быть проницаемой или непроницаемой для электрического тока, и при этом не нужно ничего перетаскивать с места на место. Но как реально использовать обнаруженное свойство?

ТРАНЗИСТОРЫ

На рисунке 6 показана в разрезе полупроводниковая пластина, содержащая донорную примесь и, следовательно, представляющая собой электронный полупроводник. Мы пометили ее буквой *n*, потому что английское слово «negative», то есть «отрицательный», соответствует заряду электрона. Какие операции были проделаны с этой пластинкой? Пластинку поместили в печь, но предварительно прикрыли ее поверхность металлической фольгой с круглым отверстием. После этого печь заполнили парами алюминия и нагрели до температуры чуть больше тысячи градусов Цельсия. Атомы алюминия внедрились в материал пластинки и образовали в нем область дырочного полупроводника, который обозначили буквой *p*, имея в виду, что это первая буква английского слова «positive», что значит «положительный».

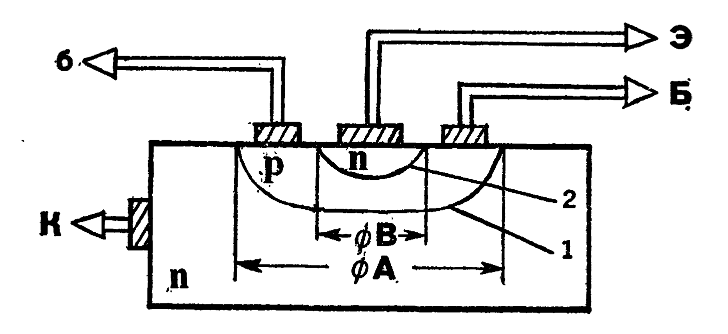


Рис. 6.

Граница между областью *р* и остальной частью пластины помечена на нашем рисунке цифрой *1*.

Затем снова прикрыли поверхность пластины металлической фольгой с отверстием на сей раз меньшего диаметра. Снова поместили пластину в печь, заполненную парами сурьмы. Разогрели печь и получили в пластине еще одну область с преимущественным содержанием донорной примеси, то есть область электронного полупроводника. Граница между этой областью и остальной структурой помечена на рисунке цифрой *2*. Кроме того, в местах, отмеченных штриховкой, укрепили металлические электроды.

Каковы свойства полученной структуры? Рассмотрим электрическую цепь между выводами, помеченными буквами *Б* и *К* (база и коллектор). Части структуры, к которым подключены эти выводы, разделены обедненным слоем, простирающимся вдоль границы *1*. Следовательно, выводы *Б* и *К* подобны разомкнутым контактам. Правда, если между точками *Б* и *К* приложить внешнюю разность потенциалов, численно равную или большую, чем потенциальный барьер, и направленную противоположно потенциальному барьеру, то есть плюсом к выводу *Б*, потенциальный барьер по обе стороны обедненного слоя окажется разрушенным. Но для простоты мы не станем рассматривать этот случай. Нам достаточно, что при нулевой разности потенциалов между точками *Б* и *К* или при разности потенциалов любой величины, но приложенной плюсом к выводу *К*, контакты

разомкнуты и ток в рассматриваемой цепи отсутствует.

Предположим теперь, что между точками *Б* и *Э* (эмиттер) приложена разность потенциалов от другого источника, причем плюс этого источника соединен с выводом *Э*. Потенциальный барьер, примыкающий к границе *2*, окажется при этом разрушенным, и в цепи потечет ток. Протекание этого тока сопровождается переходом электронов из области *n* (ее называют эмиттером) в область *p* (ее-то называют базой). Таким образом, в базе образуется дополнительная концентрация электронов, которые являются здесь неосновными носителями. Но неосновные носители обладают способностью свободно переходить через *p-n*-переход. Поэтому при наличии в базе неосновных носителей промежуток между точками *Б* и *К* становится проводящим — контакты замкнулись.

Остается добавить, что обедненный слой, примыкающий к границе *1*, называется коллекторным переходом, а область *n*, примыкающая к этой границе, — коллектором. Явление, состоящее в том, что при протекании электрического тока между эмиттером и базой в базе создается концентрация неосновных носителей, получило название инжекции.

Мы просим прощения у читателей за столь подробное изложение. Пожалуй, оно излишне, но нам хотелось продемонстрировать, как все же удалось решить, казалось бы, неразрешимую задачу и создать точный аналог механических контактов реле. Это промежуток между базой и коллектором. При отсутствии тока между эмиттером и базой этот промежуток соответствует разомкнутым контактам, а при наличии тока в цепи эмиттер — база в результате инжекции база заполняется неосновными носителями, и контакты замыкаются. И никаких движущихся частей, ведь про электроны нельзя говорить, что они движутся. Эту очень важную для понимания истинных процессов на электронном уровне мысль мы подчеркивали не раз. Просто протекание тока между точками *Э* и *Б* вызывает перераспределение концентрации электронов.

Описанная конструкция получила название биполярного транзистора. Слово «биполярный» здесь не совсем удачно выбрано. Правильнее было бы назвать его

инжекционным или транзистором с боковым управлением. Но дело не в названии. Биполярный транзистор решает поставленную перед ним задачу и, следовательно, может быть взят за основу при построении рассуждающих систем.

ВДОЛЬ, А НЕ ПОПЕРЕК

У биполярного транзистора есть на первый взгляд небольшой недостаток. В чем он состоит? Когда напряжение между точками *Б* и *К* приложено плюсом к выводу *Б* и имеет достаточно большую величину, в цепи течет ток (контакты замкнуты) независимо от наличия или отсутствия инжекции. Недостаток этот не столь уж серьезен, ведь всегда можно позаботиться о правильной полярности напряжения, но, безусловно, было бы лучше, если бы такой потребности вообще не возникало. Подобного недостатка лишена структура, показанная на рисунке 7.

Многое читателю здесь уже знакомо. Такая же полупроводниковая пластинка из полупроводника с электронной проводимостью. Как и на предыдущем рисунке, она показана в разрезе. Эту пластинку покрыли металлической фольгой с двумя отверстиями, расположенными справа и слева, и поместили в печь, заполненную парами алюминия. В результате образовались две области с дырочной проводимостью, помеченные на рисунке буквами *p*. Далее через ту же фольгу с отверстиями на поверхность пластинки напылили алюминиевые электроды, а к электродам приварили выводы, помеченные буквами *И* (исток) и *С* (сток).

Не думайте, что на этом все закончилось. Полупроводниковую пластинку снова прикрыли фольгой, на сей раз с отверстием, расположенным посередине, и поместили в печь, заполненную кислородом. Кремний в кислородной атмосфере окислился, и образовался слой двуокиси кремния, помеченный на рисунке буквой *О*. Наконец, поверх слоя окиси напылили слой металла и к этому слою приварили вывод, помеченный буквой *З* (затвор).

Что же получилось? Вдоль границ, помеченных на рисунке 7 цифрами *1* и *2*, образовались два обедненных слоя и два потенциальных барьера. Если между выво-

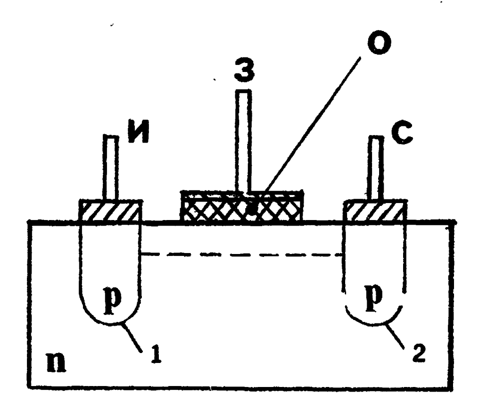


Рис. 7.

дами *И* и *С* приложена разность потенциалов, то независимо от ее полярности ток между этими выводами не протекает. Действительно, каково бы ни было направление внешней разности потенциалов, оно обязательно совпадет хотя бы с одним из потенциальных барьеров и повысит его. Промежуток между выводами *И* и *С* мы смело уподобливаем разомкнутым контактам, причем в данном случае они остаются разомкнутыми независимо от величины и направления приложенной извне разности потенциалов.

Предположим, к выводу *З* приложен отрицательный относительно области *n* потенциал. Это приводит к тому, что электроны в области *n* отталкиваются от отрицательно заряженного электрода и вблизи поверхности пластинки возникает тонкий слой, свободный от электронов.

Дальше все происходит очень интересно. Наличие электронов в свободной зоне полупроводника затрудняет переход электронов из валентной зоны в свободную. Почему? Кроме достаточной энергии, для перескока запретной зоны электрон должен найти свободный уровень. Если каким-то образом изгнать электроны из свободной зоны, то последнее препятствие снимается и количество электронов, переходящих из валентной зоны в свободную, резко увеличивается.

Перешедшие электроны опять-таки отталкиваются

отрицательно заряженным затвором, а оставшиеся после них в валентной зоне свободные уровни, то есть дырки, продолжают существовать. В результате весь слой, примыкающий к верхней поверхности пластинки, приобретает дырочную проводимость. Между областями, помеченными буквой *p*, как бы выстроен мостик с проводимостью того же типа, что и эти области. Этот мостик называют каналом. На границах между истоком, стоком и каналом никаких обедненных слоев не возникает, и путь току между истоком и стоком открыт в любом направлении.

Описанная структура получила название полевого транзистора, или, точнее, МОП-транзистора с индуцированным каналом. Аббревиатура МОП составлена из первых букв слов «металл», «окись», «полупроводник», что соответствует структуре затвора, и в этом легко убедиться, бросив еще один взгляд на рисунок 9. Слова «с индуцированным каналом» означают, что нормально канал отсутствует (контакты разомкнуты) и возникает лишь при подаче напряжения на затвор.

Даже из столь краткого рассмотрения видно, что МОП-транзисторы обладают несомненными преимуществами по сравнению с биполярными. Исторически биполярные транзисторы появились первыми, поэтому до сих пор они еще довольно широко используются. Однако сейчас в мире наблюдается четкая тенденция к переходу на МОП-транзисторы.

КОНКУРИРУЕМ С КЛЕТКОЙ

Когда появились транзисторы (это произошло в конце 40-х годов), а главное, когда стало понятно, что их можно использовать в роли контактов реле для построения рассуждающих систем, свершился первый качественный скачок в той отрасли науки и техники, который сегодня называют информатикой. Благодаря транзисторам начали строить достаточно мощные системы переработки информации, занимающие вполне разумные габариты, скажем, порядка одного кубического метра и потребляющие разумные количества энергии, скажем, в пределах сотен ватт.

По темпам своего развития информатика побила все

существовавшие до нее рекорды. Это справедливо даже применительно к такой прогрессивной области, как космическая техника. Слов нет, выход человечества в космос совершенно уникальное событие, в своем роде единственное в истории человечества, и переоценить его невозможно. Но давайте обратимся к цифрам. Первые самолеты, появившиеся в начале XX века, имели скорость порядка нескольких сот километров в час. Ракетоноситель межпланетного корабля развивает вторую космическую скорость, то есть 11 километров в секунду, или около 40 тысяч километров в час. Таким образом, за время от начала века до старта космической эры скорость летательных аппаратов возросла, будем считать, в 400 раз. Цифра впечатляющая! Но переход от реле к транзисторам, который совершился за каких-нибудь 15 лет, привел к увеличению быстродействия ЭВМ в несколько десятков тысяч раз.

И все же не это главное. Воистину революционные изменения в информатике наметились тогда, когда стало ясно, что на одной полупроводниковой пластине совсем необязательно изготовлять один-единственный транзистор. Что нужно для изготовления транзистора? Прикрыть поверхность полупроводниковой пластины металлической фольгой, к примеру, с двумя (для изготовления истока и стока), а потом с одним отверстием. Но если в той же фольге проделать четыре отверстия, получатся два транзистора. Если сделать двадцать отверстий, получится десять транзисторов и т. д.

Не составляет большого труда изготовить соединения между выводами транзисторов. Это делается двумя способами. Либо на поверхность пластины, опять-таки через отверстие нужной конфигурации в металлической фольге, напыляется металл, либо в нужные области пластины вводятся примеси. Напомним, что полупроводник с примесями ток проводит, а без них практически не проводит.

Так появилось то, что сегодня называют интегральной схемой. Какая главная особенность интегральных схем? Интегральная схема, содержащая тысячу транзисторов, отличается от схемы с десятью транзисторами только количеством отверстий в соответствующих листочках фольги, используемых при изготовлении интегральных схем. Эти листочки называют масками. Вос-

тальном технологические операции остаются одинаковыми как в случае десяти, так и в случае десяти тысяч транзисторов. Отсюда вывод: сложность изготовления интегральной схемы с тысячью транзисторов, а следовательно, и ее стоимость — та же самая, что и у интегральной схемы с десятью транзисторами.

Что значит изготовить интегральную схему? Это значит поместить атомы примеси в нужные места кристаллической решетки исходного полупроводника (чаще всего кремния). Извлечь такой атом из соответствующего узла кристаллической решетки не так-то просто. Конечно, пластинку кремния можно расплавить, можно разбить ее молотком на мелкие части, но до тех пор, пока она не подвергается столь грубым воздействиям, извлечь однажды внедренные атомы примеси практически невозможно. Интегральная схема поистине способна все вытерпеть. Дешевизна и чрезвычайно высокая надежность — две основные важнейшие характеристики интегральных схем.

Пойдем дальше. Читателю уже ясно, что есть все основания уподобить интегральную схему молекуле нуклеиновой кислоты. И та и другая представляет собой последовательность структурных элементов. В случае нуклеиновой кислоты — это нуклеотиды, а в случае интегральной схемы — транзисторы. И в том и в другом случае интегральные схемы соединяются между собой определенным образом. Некоторое отличие состоит, правда, в том, что транзистор принимает одно из двух состояний (замкнуто — разомкнуто), а нуклеотид — одно из четырех состояний. Но это чисто количественное различие, и оно легко снимается, если одному нуклеотиду ставить в соответствие не один, а, скажем, два транзистора.

Подобную аналогию имеет смысл продолжить и сравнить соответствующие количественные характеристики, прежде всего размеры. Размеры одного структурного элемента молекулы нуклеиновой кислоты измеряются величиной порядка нескольких десятых долей нанометра (10^{-10} м). Расчет предельных размеров структурного элемента интегральной схемы потребует от нас некоторых размышлений. Что надо вспомнить прежде всего?

Чтобы получить либо электронный, либо дырочный полупроводник, к чистому кремнию добавляют ту или

иную примесь, причем требуемые эффекты получаются, если один атом примеси приходится примерно на сто миллионов атомов чистого полупроводника.

Отсюда ясно, что структурный элемент интегральной схемы при всех условиях не может содержать меньше чем сто миллионов атомов. В противном случае ему просто не достанется того единственного атома примеси, который и определяет его рабочие свойства.

В течение довольно длительного времени считалось, что на этом расчеты и заканчиваются. Достаточно иметь хотя бы один электрон в свободной зоне или одну дырку в валентной зоне, чтобы реализовать те эффекты, которые были описаны выше. Сейчас настал удобный момент продемонстрировать читателю, насколько в самом деле были необходимы все рассуждения о свойствах электронов и вообще элементарных частиц, которые мы с такой щедростью развивали на предыдущих страницах. Все дело в том, что один-единственный электрон вообще ведет себя совсем не так, как мы ожидаем. Чтобы понять это, обратимся снова к соотношению неопределенностей.

Мы хотим, чтобы наш единственный электрон находился где-то в пределах структурного элемента, состоящего из ста миллионов атомов. Сто миллионов атомов в кристаллической решетке при среднем расстоянии между атомами 10^{-10} метра (одна десятая нанометра) занимают кубик с длиной ребра порядка 10^{-7} метра. Такова максимальная неопределенность координаты электрона, если мы настаиваем, что он находился в пределах структурного элемента. Но подобной неопределенности в координате соответствует неопределенность величины импульса электрона порядка 10^{-22} грамм-сантиметра в секунду. Применительно к электрону это огромная величина. Чтобы оценить ее, воспользуемся понятием о скорости, которое вообще-то к электрону неприменимо. Если бы электрон был классической частицей, то импульсу 10^{-22} грамм-сантиметра в секунду соответствовала бы скорость такой частицы порядка 10^5 сантиметров в секунду (масса электрона имеет порядок 10^{-27} грамма).

Эти цифры мы привели для убедительности, а также для тех читателей, которые достаточно хорошо знакомы с физикой и захотят проверить наши выкладки. Так или

иначе, а суть состоит в том, что по той лишь единственной причине, что электрон оказывается локализованным в пределах структурного элемента, он обладает огромным импульсом, направленным совершенно произвольно. Бессмысленно ожидать от него какого-то упорядоченного поведения.

Таково конкретное проявление давно установленного физикой факта, что электрон представляет собой квантовомеханический объект и его поведение может быть описано только в терминах вероятностей. Что это значит в рассматриваемом нами случае?

Если наш единственный электрон поместить в электрическое поле, появится некоторая отличная от нуля вероятность того, что у импульса электрона возникнет некоторая постоянная составляющая, направленная в ту же сторону, что и поле. Но вероятность еще не достоверность. Вероятность вероятностью, а реальный импульс может быть направлен куда угодно и иметь величину, на несколько порядков большую, чем та, которую мы ожидаем в результате воздействия поля.

Задача состоит в том, чтобы превратить вероятность в достоверность. Как это делается, мы знаем. Надо взять много электронов. Настолько много, чтобы, как говорят специалисты по теории вероятностей, начал удовлетворяться закон больших чисел. Обстоятельство, имеющее чрезвычайно важное, чтобы не сказать — фундаментальное значение.

Наука XX века характеризуется весьма широким использованием методов теории вероятностей. Это объясняется и успехами статистической физики, достигнутыми к концу XIX века, и особенно развитием квантовой механики в первой половине XX века. Но подобное увлечение теорией вероятностей часто приводит к тому, что ее методы применяют там, где они совершенно неприменимы, то есть в случаях, когда число объектов или число наблюдений относительно невелико. Нужно четко представлять себе, что указать применительно к одиночному объекту некую вероятность некоего события, могущего с ним произойти, равносильно тому, чтобы не сказать ничего.

Только когда объектов становится много, причем все они находятся в одинаковых условиях и независимы друг от друга, понятие вероятности каким-то образом

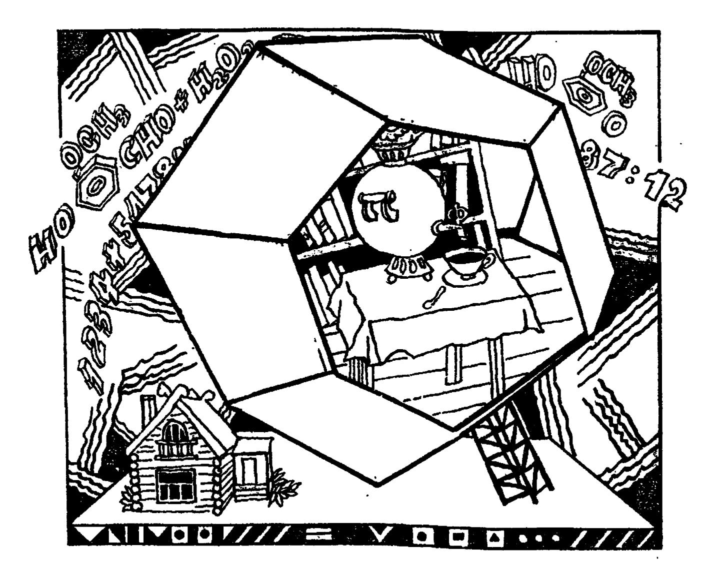
может быть использовано для предсказания их коллективного поведения. Подчеркнем еще раз — коллективного поведения, а не поведения любого одного из числа этих объектов. Объектов обязательно должно быть много. Сила теории вероятностей в том и состоит, что она позволяет точно рассчитать число объектов, необходимое для того, чтобы интересующее нас коллективное их поведение имело место с данной (достаточно высокой) степенью вероятности.

Не станем утомлять читателя дальнейшим углублением в теорию вероятностей. Скажем просто: в нашем случае для реализации требуемых эффектов достаточно примерно десяти тысяч электронов. Но что значит десять тысяч электронов? Это значит десять тысяч примесных атомов. Общее количество атомов, необходимых для построения одного структурного элемента, возрастает до величины 10^{12}. В кристаллической решетке 10^{12} атомов занимают кубик с размером ребра 10^{-6} метра, то есть один микрометр. Это и есть теоретически минимальный размер одного структурного элемента интегральной схемы.

В том, что касается размеров, полупроводниковая электроника проигрывает по сравнению с природными конструкциями более чем в тысячу раз — это надо признать. Не станем, однако, расстраиваться. На поверхности полупроводниковой пластины структурный элемент занимает площадь $(10^{-6})^2$, то есть 10^{-12} квадрат-ратного метра. Если считать, что кристаллическая пластинка представляет собой квадрат со стороной в один сантиметр, то площадь ее равна 10^{-4} квадратного метра, а значит, на ней может быть расположено 10^8, то есть до ста миллионов, структурных элементов.

Количество структурных элементов на полупроводниковой пластине, или, как говорят, на одном кристалле, получило название степени интеграции. Итак, теоретический предел для степени интеграции имеет порядок 10^8.

Конечно, можно увеличить площадь пластины, но существенное увеличение с учетом жесточайших требований к чистоте материала и однородности структуры кристалла встречает почти непреодолимые технологические трудности. Более реальным считается создание многослойных интегральных схем.



Вообще на сегодня теоретический предел степени интеграции еще далеко не достигнут. Согласно одному из последних сообщений в Японии изготовлен экспериментальный образец кристалла памяти емкостью 16 миллионов запоминающих ячеек. Размеры кристалла 8,9 на 16,6 миллиметра. Подобная схема содержит 40 миллионов структурных элементов, расположенных на двадцати слоях, то есть примерно по два миллиона на слой.

Все это выглядит громоздко по сравнению, например, с хромосомой, которая может содержать несколько миллионов структурных элементов и при этом видна только в сильный микроскоп. Но и особых оснований, чтобы расстраиваться, тоже нет. Уже сегодня система, содержащая несколько миллиардов функциональных элементов (функциональных, а не структурных — каждый функциональный элемент содержит до сотни структурных), то есть примерно столько же, сколько по современным оценкам имеется нервных клеток в мозгу человека, занимает объем порядка кубического дециметра. Так или иначе, но прогнозы фантастов относительно появления ЭВМ величиной с дом, город или целую планету оказались несостоятельными.

Важной характеристикой структурных элементов ин-

формационных систем является время выполнения одной операции. В живой клетке операция выполняется путем транспортировки соответствующих молекул. О каких-то серьезных скоростях тут и говорить нечего. Время выполнения одной операции в биологических системах измеряется миллисекундами (10^{-3} с). В структурных элементах интегральных схем время выполнения операций зависит от времени переноса соответствующих электрических зарядов. Один структурный элемент может содержать 10^4 электронов, суммарный заряд которых имеет порядок 10^{-15} кулона.

Вернемся к рисунку 9 и предположим, что надо изгнать эти 10^4 электронов для того, чтобы образовать канал. Реальные значения токов, которые протекают в подобных структурах, имеют порядок микроампер, то есть 10^{-6} ампера. Заряд 10^{-15} кулона переносится током в 10^{-6} ампера за 10^{-9} секунды. Это и есть теоретическая оценка для времени срабатывания одного структурного элемента интегральной схемы. Поскольку функциональный элемент содержит несколько структурных, эта величина должна быть соответственно увеличена. У упоминавшейся японской схемы памяти на поиск и выдачу нужного участка записи затрачивается 87 наносекунд. В части быстродействия искусственные технические системы определили природу примерно в миллион раз.

Сколько энергии потребляют живые клетки и сколько интегральные схемы? Потребление энергии живой клеткой в расчете на один структурный элемент примерно в сто тысяч раз меньше, чем в интегральных схемах. Этого и следовало ожидать, исходя из количества атомов, приходящихся на один структурный элемент в живых и искусственных системах. Но, пожалуй, важнее другое. В интегральных схемах где находится источник энергии? Он расположен вне схемы. К каждому из функциональных элементов энергия подводится по проводникам. Проводники занимают много места, что, естественно, снижает степень интеграции. Но опять же главное не в том. Сложная разветвленная сеть питания (ведь энергию надо подвести к каждому функциональному элементу) резко снижает надежность системы. Уже сегодня при современной степени интеграции система питания оказывается причиной подавляющего большинства неисправностей и отказов.

Иначе решена эта проблема у природы. Источники питания (а ими в данном случае являются молекулы АТФ) распределены в цитоплазме клетки. Функциональные элементы как бы плавают в энергетической ванне и черпают энергию непосредственно из окружающей среды без каких-либо подводящих путей. Возможно, именно здесь нашим конструкторам имеет смысл позаимствовать у природы решение проблемы энергоснабжения.

УЧИМСЯ ГОВОРИТЬ

Живые клетки размножаются делением. Все начинается с того, что спираль, состоящая из двух молекул ДНК, расплетается. Под влиянием фермента полимеразы к каждой молекуле пристраивается вторая, причем соблюдаются правила комплементарности. Вокруг каждой из образовавшихся таким образом спиралей достраивается ядро, клетка делится пополам, и каждая половина, имея собственное ядро, превращается в полноценную клетку.

Можно ли наблюдать нечто похожее у интегральных схем? Конечно. Более того, в интегральных схемах все происходит гораздо эффективнее. Процесс создания интегральной схемы состоит в том, что исходная пластинка кремния прикрывается фольгой-маской, нагревается в атмосфере, состоящей из паров некоторого вещества. Затем маска заменяется. Снова нагрев, теперь уже в парах другого вещества, и так далее вплоть до завершения.

Описанный технологический процесс не единственный. Существует, например метод ионной имплантации. В чем он состоит? Атомы примеси внедряются в кристалл в результате того, что в нужное место пластины направляется пучок соответствующих ионов.

Все это так, но и первый метод достаточно распространен и удобен, и у нас имеются все основания использовать его в качестве примера.

Интегральной схеме нет нужды делиться. С помощью одного и того же комплекта масок изготовляют большое количество интегральных схем. Ну а если маски изнашиваются? Всегда можно изготовить новый комплект на основании чертежа, выполненного на бумаге.

Раз уж мы заговорили о технологическом процессе

изготовления интегральных схем, важно отметить следующее. Сам процесс в настоящее время полностью автоматизирован. Сырье для каждой интегральной схемы затрачивается в ничтожных количествах, измеряемых миллиграммами. Поэтому изготовление интегральной схемы практически ничего не стоит (порядка нескольких рублей, из которых большая часть затрачивается на изготовление корпуса и выводов).

Иное дело маски! Полный цикл изготовления маски, а начинается он, собственно, с разработки схемы, то есть с создания принципиально нового физического прибора, и заканчивается крохотным, площадью в несколько десятков квадратных миллиметров, кусочком металлической фольги с десятком миллионов отверстий, разумеется, обходится очень дорого. Это могут быть десятки миллионов рублей. Получается парадоксальная ситуация. Цена интегральной схемы оказывается обратно пропорциональной общему количеству выпущенных аналогичных схем. Стоимость маски равномерно распределяется по всем выпущенным изделиям.

То же самое имеет место в полиграфии. Клише газетного рисунка может обойтись в несколько тысяч рублей, но поскольку с этого клише делаются миллионы отпечатков, газета продается за несколько копеек.

Но мы отклонились от нашей темы. Пока констатируем, что в известном смысле техника и здесь обогнала природу. Вместо того чтобы делать самоделящиеся интегральные схемы (технически это не составило бы большого труда), мы умеем на основании комплекта масок (почему бы не назвать его хромосомным набором?) изготовлять в едином процессе любое количество интегральных схем.

Тут возникает очень важное «но». Изобретенный природой процесс деления клетки теснейшим образом связан с совершенствованием организма. Нормально при каждом делении возникают две дочерние клетки, идентичные материнской. Но случается иначе. В результате явления, названного мутацией, какая-нибудь из двух реплицированных молекул ДНК хотя бы в мельчайшем структурном элементе отличается от исходной. В результате возникает новое качество. А дальше — одно из двух. Если это качество, грубо говоря, ухудшает организм, клетка погибает. Наоборот, если новое качество

принесло улучшение, оно закрепляется в потомстве. В этом смысл естественного отбора или, если угодно, смысл жизни.

Процесс деления клеток придуман природой не столько ради размножения, сколько именно ради совершенствования методом естественного отбора. Можно ли говорить о чем-нибудь подобном применительно к производству интегральных схем? И снова ответ будет положительным. Давно уже было сочтено неприемлемым затрачивать десятки и сотни миллионов рублей на разработку масок, особенно в тех случаях, когда предполагаемый объем выпуска некоторой микросхемы относительно невелик. Это трудоемкий и дорогостоящий процесс.

Ясно, что возникло желание его автоматизировать. Как это было сделано?

Маска представляет собой не что иное, как текст, записанный на некотором языке. Буквами этого языка являются отверстия разной величины и конфигурации, а словами — определенные последовательности таких отверстий. Существуют правила, устанавливающие возможность или невозможность изготовления данного отверстия в некотором месте маски. Иначе говоря, возникла грамматика подобного языка. В качестве примера грамматических правил приведем, например, такое: не может быть более двух расположенных рядом отверстий, соответствующих истоку и стоку полевого транзистора; или такое: отверстия, соответствующие истоку и стоку, обязательно должны быть разделены отверстием, соответствующим затвору. Чтобы убедиться в справедливости этих правил, посмотрите на рисунок 9.

В подобных условиях разработка очередного комплекта масок для производства новой интегральной схемы идентична переводу с одного языка на другой. Что является исходным текстом?

Описание того, что требуется от вновь проектируемой интегральной схемы. Это описание может быть выполнено на обычном, скажем, русском языке, может представлять собой принципиальную схему, использующую условные обозначения так, как это принято в радиоэлектронике, или что-нибудь другое. Единственное требование состоит в том, чтобы исходный текст не содержал двусмысленности.

А результат перевода? Очевидно, сама маска или ее чертеж. Процесс перевода выполняет ЭВМ с помощью соответствующей программы. Такие программы давно известны в связи с задачей перевода с языка пользователя на язык ЭВМ и называются компиляторами.

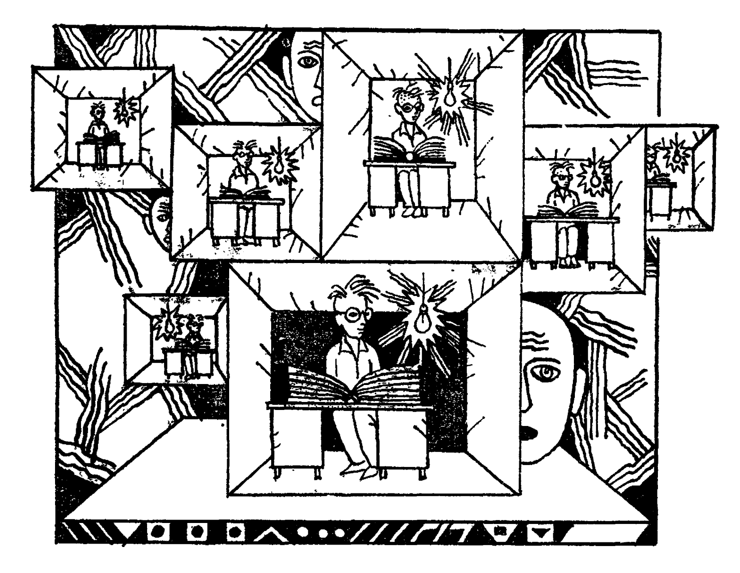
Что значит научить ЭВМ проектировать интегральные схемы? Это значит научить ее переводить с одного языка на другой или снабдить ее соответствующим компилятором. Мы позволим себе высказать некоторые мысли по поводу изучения языков.

На наш взгляд, существуют два основных метода изучения иностранного языка. Первый состоит в том, что заучиваются наизусть отдельные слова и возможные их значения, а также тщательнейшим образом вызубриваются все без исключения правила грамматики. Подчас довольно трудно выявить и перечислить все значения данного слова, и такой поиск превращается в целую научную работу, которая в отдельных случаях превращается в диссертацию.

Наше мнение (безусловно, дилетантское, поскольку мы не имеем никакого отношения к языкознанию) сводится к тому, что подобный метод, взятый в чистом виде, довольно-таки безнадежен. Даже если человек, обученный таким методом, и сможет более или менее успешно разговаривать на иностранном языке, он никогда не отважится на достаточно качественный адекватный перевод мало-мальски сложного текста.

Второй метод, которому мы, не скроем этого, отдаем предпочтение, состоит в том, что после самой примитивной подготовки, сводящейся к запоминанию двух сотен самых употребительных слов и простейших грамматических правил, обучаемый погружается в языковую среду. Он воспринимает язык не отдельными словами, а фразами, оборотами, образами. И, что греха таить, часто мы сталкиваемся с людьми, блестяще владеющими языком, но не знающими грамматики. Наш знакомый писатель даже высказал мысль, что искусство создания художественных произведений во многом сводится к умению управлять грамматикой.

Стоп! Меньше всего мы собирались как-то высказываться о методике изучения иностранных языков. Зачем же понадобилось нам отступление? Чтобы показать, что современные ЭВМ пользуются именно вторым из пред-



ложенных методов перевода. Конечно, ЭВМ-переводчик хранит в своей памяти подчас даже полный словарь языка оригинала, что, конечно, не мешает. Но не мешает потому, что в отличие от человека этот словарь «не забивает» памяти. У ЭВМ остается ее достаточно для выполнения остальных операций. Главное в том, что в специальном разделе памяти ЭВМ накапливаются отдельные фразы, образы, отрывки. Ими-то в основном и пользуется ЭВМ в процессе перевода. Такой раздел памяти называют библиотекой. Чем больше работает ЭВМ-переводчик, тем полнее ее библиотека, тем она опытнее, тем выше качество переводов.

Все сказанное справедливо и для ЭВМ-проектировщика интегральных схем. Если бы всякий раз проектирование очередной схемы начиналось, как говорится, с нуля, то даже применение ЭВМ не снизило бы затрат на проектирование. Объясняется это, в частности, тем, что правила грамматики языка, на который ЭВМ собирается переводить, чрезвычайно сложны. Так, они требуют, чтобы никакие два проводника, расположенные в одной плоскости, не пересекались. И вот эта одна-единственная задача разработки методов проектирования планарных схем в течение двух последних де-

сятилетий составила содержание, по крайней мере, сотни диссертаций.

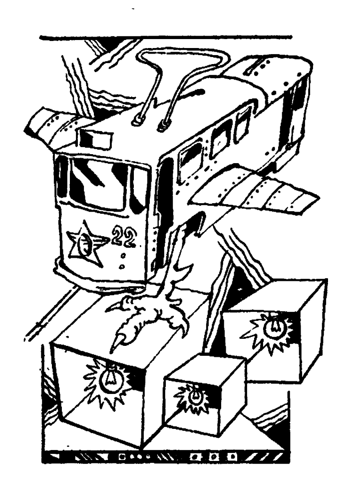
Как поступает ЭВМ? Разработав фрагмент маски для относительно простого узла, она тут же отправляет его в библиотеку. Содержимое библиотеки совершенствуется со временем как количественно, так и качественно. Соответственно с этим растет и искусство ЭВМ. Что здесь самое главное?

Фрагменты могут быть удачными или неудачными. Если некий фрагмент в течение долгого промежутка времени лежит в библиотеке без употребления, его оттуда выбрасывают. Фрагмент, пользующийся большим спросом, наоборот, дополняется рядом усовершенствований, облегчающих его сочетание с другими фрагментами.

Вряд ли нужно указывать читателю, что здесь мы сталкиваемся с достаточно близким аналогом естественного отбора. Что интересно?

Сам метод возник в попытках обучения ЭВМ шахматной игре. Очень скоро стало ясно, что, вместо того чтобы разрабатывать и вводить в ЭВМ всевозможные стратегии (это нужно делать, но в разумных пределах), правильнее дать ей возможность играть с сильными шахматистами и, играя, запоминать позиции и ходы, которые в данном случае привели либо к выигрышу, либо к проигрышу.

В скором будущем типичный завод по производству интегральных схем будет представлять собой полностью автоматизированную поточную линию. На входе этой линии будет установлена клавиатура или устройство для чтения принципиальных схем, с помощью которых можно будет диктовать принцип действия и характеристики очередной выпускаемой схемы или партии схем.



Беседа шестая.

СЕМЬ НЯНЕК

ЧЬЯ ГРАММАТИКА?

В институте в одной группе с нами учился парнишка, сын сотрудников советского посольства, который родился и первые четырнадцать лет жизни прожил в Лондоне. Учился он в местной школе. Когда пришло время в институте сдавать экзамен по английскому языку, он получил тройку. Факт показался настолько невероятным, что от группы были выбраны делегаты и отправлены на кафедру иностранных языков.

— Как это могло случиться, — спросили мы у заведующей кафедрой, — ведь он же родился в Англии и английский язык для него почти родной?

— А мы и не сомневаемся в том, что он знает английский язык, но он не знает грамматики.

— Как же может не знать грамматику английского языка человек, который несколько лет подряд проучился в английской школе? — удивились мы.

— Ничего странного в этом нет, — ответила заведующая, — у них там своя грамматика английского языка, а у нас своя.

Остается добавить, что диалог этот происходил в середине 50-х годов.

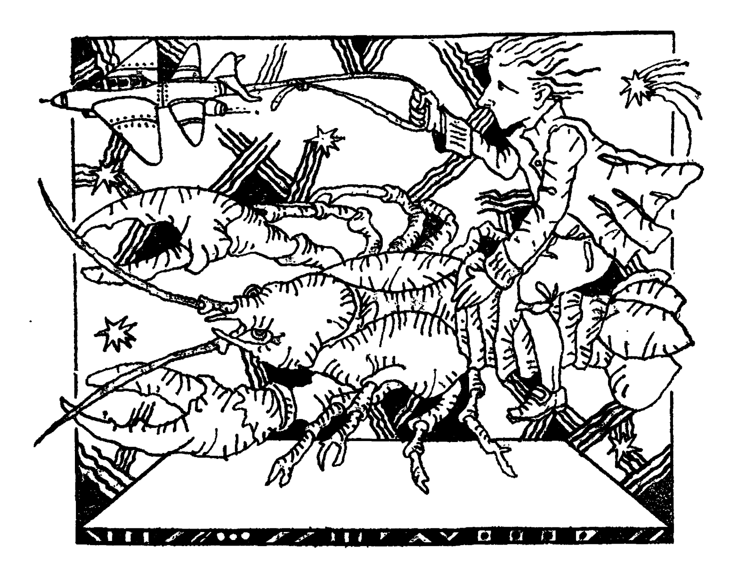
Подобный диалог не вызвал бы никакого удивления, если бы речь шла не о грамматике английского языка, а о грамматике какого-либо из алгоритмических языков, на которых программист общается с ЭВМ. У английского языка одна грамматика и никакой другой быть не может. А вот у одного и того же алгоритмического языка грамматик может быть много. Придумали даже классы грамматик. Но ничего хорошего в этом нет. Как, впрочем, ничего хорошего нет и в алгоритмических языках. Появились они в период младенчества ЭВМ, и по мере возмужания ЭВМ постепенно переходят на общение средствами обычных человеческих языков. Путь этот достаточно сложен.

КАК ЭТО ДЕЛАЕТ ЧЕЛОВЕК!

Поставьте себя на место человека, выполняющего какую-нибудь сложную работу, например конструирующего новый самолет. Мы не в состоянии углубиться в подробности его творческой кухни, для этого понадобились бы тома специальных изданий. Пробежимся, так сказать, по верхам, останавливаясь на некоторых, основных, на наш взгляд, деталях. Добавим к тому же, что сами мы не авиаконструкторы, поэтому наверняка в чем-нибудь и ошибемся.

Первый этап нам представляется так. Человек воображает себе и, наверное, набрасывает на бумаге контуры, общую компоновку будущего самолета. Важно отдать себе отчет, как он это делает. Прежде всего за основу берется некоторый обобщенный образ самолета, пока еще лишенный или почти лишенный индивидуальных черт. Стоп! Вот это чрезвычайно существенно.

Обобщенный образ самолета берется готовый — извне, неважно откуда. Он уже существует к моменту начала проектирования. Далее в обобщенный образ вносятся изменения. Какие? Они могут быть радикальными и небольшими. Можно добавить еще пару крыльев, превратив моноплан в биплан, а можно немножко изменить обводы фюзеляжа. Так или иначе, но на этом этапе процесс конструирования сводится к определенной



схеме. Вносятся изменения, и то, что получилось, испытывается на соответствие определенным критериям. По результатам испытаний изменение либо принимается, либо не принимается.

Критерии бывают самыми различными. Опытный конструктор, вообще говоря, представляет, как поведет себя та или иная форма в воздухе. Он может представлять себе или точно, или приближенно, или, наконец, неверно. Он может представлять себе это подсознательно. В числе прочих критериев могут быть критерии чисто эстетические. Тем не менее рассматриваемый этап сводится к знаменитому методу проб и ошибок. Часто говорят, и совершенно правильно, что на этом этапе ставится мысленный эксперимент. В результате рождается конструкция первого приближения.

Что для нас важно? Во всем описанном процессе при выполнении его человеком самой дефицитной оказывается фантазия. Да что говорить о конструкторах! Фантасты-литераторы, для которых фантазия, казалось бы, является основным инструментом, основным средством производства, не дали нам ничего, кроме нескольких достаточно примитивных приемов. Попытаемся перечислить главные из них.

Все то же самое, но изменяется количественно: Гулливер и лилипуты, из пушки на Луну.

Какая-нибудь деталь или несколько деталей добавляется или отбрасывается: человек с тремя ногами или одним глазом.

Известное — в необычной среде: ковер-самолет, подводная лодка.

Полное отрицание. Это, пожалуй, самый сильный и в то же время хуже всего удающийся человеку прием. В качестве примера здесь можно назвать человека-невидимку, людей, вообще лишенных тела (ангелы), попытки воспроизвести течение жизни при скоростях, больших скорости света, в условиях гравитационного коллапса и т. п.

Весьма интересная подробность. Свидетельства на изобретения, то есть документы, основная задача которых зафиксировать появление чего-то нового, содержат так называемую «формулу изобретения». Как и положено всякой формуле, она пишется по раз навсегда принятому стандарту. Вначале описывается нечто известное, существующее, иначе говоря, прототип. Затем вразрядку пишутся два сакраментальных слова: «отличающееся (щийся, щаяся) тем...» Далее следует перечень отличий, который характеризует данное изобретение.

Если угодно, можно предложить нечто вроде формулы творчества, то есть свести процесс творчества к следующим этапам. Во-первых, выбор прототипа. Во-вторых, внесение в прототип изменений, проверяемых каждый раз на соответствие некоторым критериям. Этот этап, в свою очередь, разбивается на несколько стадий.

Мы рассмотрели одну из них, назвав ее мысленным экспериментом. За ней следуют стадии строгих количественных расчетов, изготовления и испытания макетов, опытного образца и т. п. Результатом чаще всего оказывается необходимость начать все сначала, поскольку на одном из этапов обнаруживается несоответствие того, что получилось, существующей системе критериев. Однако в конце концов процесс может завершиться успехом.

ЧТО ОНА МОЖЕТ!

Ну а ЭВМ? Можно ли хотя бы мечтать о том, чтобы поручить ЭВМ выполнять самостоятельно хотя бы одну из перечисленных стадий? Так вот, чтобы в дальнейшем не было никаких неясностей, заявим сразу: мы глубоко убеждены в том, что ЭВМ способна, и притом вполне самостоятельно, выполнять любую из перечисленных стадий, а также и все их, вместе взятые. Лучше всего должна удаваться ЭВМ стадия мысленного эксперимента.

В чем здесь дело? Человек мыслит медленно, и память его ограниченна. Только люди, обладающие феноменальными способностями, могут выполнять в уме довольно сложные вычисления, да и то они ограничиваются обычной арифметикой. Поэтому в процессе мысленного моделирования человек способен прикидочно оценить потенциальные свойства той или иной конфигурации. В дальнейшем, как уже говорилось, она должна быть подвергнута более точному расчету, чаще всего с помощью той же ЭВМ.

ЭВМ в меньшей степени страдает от подобных ограничений. В силу своего чрезвычайно высокого быстродействия она способна уже на первой стадии просмотра вариантов проводить довольно глубокие оценки и сразу отбрасывать то, что при работе человека было бы отброшено на гораздо более поздних стадиях. В какой-то степени ЭВМ способна заменять и физический эксперимент, если она снабжена хорошим математическим описанием физических процессов, чего пока ей в основном и не хватает.

ЭВМ способна, если это необходимо, потребовать выполнения физического эксперимента, спланировать его и изготовить рабочие чертежи опытной установки. Совместно с группой роботов, о них речь еще пойдет впереди, ЭВМ способна выполнить и физические эксперименты.

Вряд ли надо добавлять, что обычные технические расчеты ЭВМ тоже способна выполнить, равно как и изготовление чертежей. Еще одна работа, сейчас уже традиционно поручаемая ЭВМ, это обработка результатов эксперимента.

Наши размышления хотелось бы закончить следую-

щим соображением. Если при обсуждении конструкции мы находили и подчеркивали довольно много отличий у искусственных систем при сравнении их с естественными, то работа ЭВМ практически почти не отличается от того, как в аналогичных условиях работает человек.

МЛАДЕНЦЫ

Так что, можно закрывать авиационные, а заодно и прочие конструкторские бюро? Нет, наверное, стоит еще некоторое время подождать. Ведь мы с вами рассмотрели, что могут делать ЭВМ, но мочь еще не значит делать. Ведь то же самое и у нас с вами. В принципе каждый человек может быть хорошим конструктором. Но ведь, поди ж ты, из кого-то получается конструктор, а кто-то так всю жизнь и работает сторожем.

Очень важно и другое обстоятельство. Чтобы человек стал хоть каким-нибудь конструктором, его учат. Учат чуть ли не половину всей его жизни. С ЭВМ получилось иначе. Поначалу мы не стали их учить. Вместо этого сразу же заставили работать, можно сказать, в младенческом возрасте. К тому были свои причины: и объем памяти у ЭВМ первого поколения был еще недостаточно большим, чтобы говорить о каком-то обучении, и работы для них накопилось уж очень много, и, самое главное, то, что никакого опыта в воспитании ЭВМ у нас тогда еще не было. Вот и заставили работать младенцев, можно сказать, еще в родильном доме.

Но в том-то вся беда, что точно так же, как человеческий младенец потенциально может многое, но объяснить ему, что надо делать, не так-то просто, так же и необученная ЭВМ не понимает, что надо делать. Поэтому на первых порах к ЭВМ приставили нянек — тех самых семерых нянек, у которых дитя без глаза. Няньки имели разные профессии, из которых самыми массовыми оказались две. Первая — программисты, вторая — алгоритмисты.

Новорожденный младенец гукает, тянет в рот что ни попало, охотнее всего пальцы ног. Это своеобразный язык, на котором он общается с внешним миром. С младенцами все ясно. Их сначала учат говорить и понимать сказанное, а затем требуют, чтобы они выполняли те

или иные указания. С ЭВМ решили поступить наоборот. Окружили их специальными няньками-программистами, которые общались с ЭВМ «гуканьем» и при этом страшно гордились собой, а профессия программиста в течение долгого времени считалась весьма почетной и дефицитной.

Чтобы рассуждать конкретнее, рассмотрим какой-нибудь пример. Признаемся честно, выбор примера в данном случае представляет большие трудности. Действительно, возьмем, например, игру в шахматы. Кто-нибудь из читателей обязательно скажет, мол, игра она и есть игра, а нас интересуют серьезные дела. Выберем писание стихов или музыки — опять у читателя наготове возражения, что таких стихов, как Евтушенко, ЭВМ все равно не напишет, а значит, и говорить не о чем. А как доказать, что эти стихи лучше, а те хуже? Если честно, то сегодня этого никто не знает. Наконец, возьмем так широко распространенный сегодня станок с числовым программным управлением. Опять слышен голос оппонента:

— Управлять станком — это же не творческая работа!

Вот и получается, что примеров много, а выбрать не из чего. Но поскольку пример все-таки нужен, давайте все вместе, включая ЭВМ, попробуем отыскать путь в лабиринте. Заодно научимся программировать.

Первая премудрость, которую надо усвоить (мы о ней в предыдущей беседе упоминали), — это то, что каждое действие ЭВМ выполняется по команде, команды пронумерованы и, если нет других указаний, выполняются в порядке своих номеров. Точно так же, как в обычной очереди. Подобный порядок выполнения команд называется их естественной последовательностью. Выполнение команд в их естественной последовательности (если, еще раз повторяем, нет других указаний) можно назвать основным законом функционирования ЭВМ.

Ну а теперь в путь по лабиринту. Раз-два, раз-два, левой-правой, левой-правой! Первая команда, вторая команда, третья команда, четвертая команда, топ-топ, топ-топ! Да простит нам читатель это сюсюканье — не забывайте, что мы имеем дело с новорожденной ЭВМ.

Движемся по коридору лабиринта. Искушенный чи-



татель мог бы сделать здесь и, наверное, сделает по меньшей мере два возражения. Первое, по его мнению, это то, что двигаться по плоскости (считаем лабиринт плоским) — это значит каждый раз вычислять координаты очередной точки. Следовательно, машина все-таки вычислительная? Все в конечном итоге сводится к вычислениям?

Ничего подобного! С той же легкостью, как с арифметическими операциями, машина оперирует и с отношениями, в частности с отношениями смежности. В таких условиях двигаться — это значит освобождать некоторый элемент площади (записывать в него нуль, если раньше была записана единица) и занимать соседний, смежный, элемент — заменять в нем нуль на единицу. Что такое «соседний», машина, как мы только что сказали, знает.

Второе возражение более серьезное. К чему оно сводится? По условию, движение совершается в лабиринте и перешагивать через стенки нельзя. Поэтому каждый шаг представляет собой не элементарное действие, а целую последовательность действий такого типа: ткнулись направо — уперлись в стенку, изменили направление движения — снова уперлись в стенку и так далее,

пока впереди не обнаруживается свободное пространство и можно делать шаг.

Топ-топ, левой-правой! Выполняется естественная последовательность команд. Но вот обнаруживается разветвление коридоров. По какому из двух путей продолжать движение? Для выбора есть много способов.

Простейший — всегда поворачивать, например, только вправо. Точнее, в самый правый из нескольких коридоров при условии, что он уже однажды не был пройден.

Можно бросить монету. Да-да, бросить монету! Иначе говоря, совершить случайный выбор. Случайный выбор машина умеет делать гораздо лучше человека, и это подтверждается тем, что в орел и решку машина у человека всегда выигрывает.

Можно вычислить вероятность успеха для каждого из путей.

Наконец, можно заглянуть в память (машинную, конечно) и воспользоваться предыдущим опытом.

Но что важно? Все сказанное не имеет никакого отношения к программированию. Программист должен знать одно: попадая в точку разветвления, машина должна выбрать путь. Как она будет это делать, относится не к программе, а к существу задачи. Попутно выполняется небольшая проверка. Не достигнут ли конец лабиринта? Если достигнут, то машина, ликуя, сообщает о выполнении задания, если нет, она возвращается в исходную точку программы и все начинается сначала: топ-топ, левой-правой...

Вот и вся премудрость. Давайте рассмотрим внимательно рисунок 8. Начнем с самого верха, где написано: «Вход в программу». Логичнее было бы написать «начало», но дело в том, что относительно каждой программы трудно определить, где у нее начало. Каждая программа может быть частью другой, более сложной. Слова «Вход в программу» и означают, что, начиная с определенного момента, действует именно эта программа. Кроме того, здесь возможно выполнение некоторых вспомогательных действий, которые на данном уровне рассмотрения несущественны.

Вошли в программу. Минуем пока прямоугольник, на котором написано «Модификация», и обращаемся к прямоугольнику «Тело программы». Тело программы — это

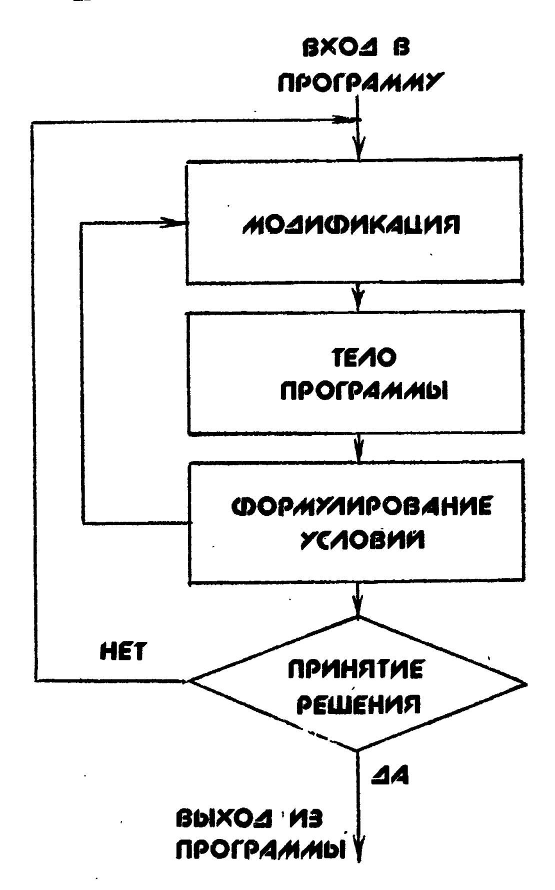

ЦИКЛ
ВХОД В ПРОГРАММУ
МОДИФИКАЦИЯ
ТЕЛО ПРОГРАММЫ
ФОРМУЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ
НЕТ
ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ
ДА
ВЫХОД ИЗ ПРОГРАММЫ

*Рис. 8*₁

и есть цепочка команд, выполняемых в их естественной последовательности. Какие это команды, совершенно безразлично. Потому мы и выбрали в качестве примера отыскание пути в лабиринте, что эта задача напоминает другие, подчас гораздо более серьезные, например решение вопроса о том, увольнять или не увольнять некоторого сотрудника.

Тело программы предусматривает, кроме команд, наличие операндов, то есть объектов, над которыми выполняются команды. Операндом может быть все, что угодно. В нашем случае это элементы площади коридоров с пометками о том, заняты они или свободны, были однажды пройдены или нет. Каждый такой элемент содержит в себе список соседних элементов. Но все это не имеет никакого отношения к программированию. Программисту достаточно знать, что операнды существуют. Операнды, как и команды, нумеруются по порядку, причем порядковый номер операнда называется его адресом. В состав каждой команды входит адрес соответствующего операнда.

Дойдя до конца естественной последовательности, переходим в следующий прямоугольник, обозначенный как «Формулирование условий». Здесь происходит следующее. Последовательно, позиция за позицией, просматривается список элементов площади, смежных с данным. Возможны три случая. Во-первых, в списке оказывается лишь один смежный элемент, причем этот единственный элемент либо уже пройден, либо еще не пройден. Во-вторых, в списке имеются два или более смежных элементов. В-третьих, единственный смежный элемент оказывается выходом из лабиринта.

При всех условиях из прямоугольника «Формулирование условий» мы переходим в ромб, на котором написано: «Принятие решения» (почему ромб, мы не знаем — такова общепринятая символика у программистов). В нашем случае ромб эквивалентен вопросу: является ли смежный элемент выходом из лабиринта? Если ответ положительный (на рис. 10 так и написано, «да»), работа программы заканчивается.

Если ответ отрицательный, осуществляется возврат в начало программы. Тогда-то и вводится в действие группа команд, обозначенная прямоугольником с надписью: «Модификация». Что делается в случае, ко-

гда обнаружены разветвления? Об этом мы говорили. Чтобы реализовать каждый из способов (например, бросить монетку), может понадобиться своя, достаточно сложная программа. Наконец, остается случай, когда единственный смежный элемент уже пройден, то есть мы зашли в тупик. Первоначально выбранный путь оказался неверным, и все надо начинать сначала. С какой точки начинать? Это опять-таки предмет для серьезных рассуждений, но лежащих за пределами обязанностей программиста.

Что должен уметь программист? Строить схемы, аналогичные показанной на рисунке 8. Иначе говоря, он должен построить естественную последовательность команд и снабдить ее в нужных местах средствами формулирования и проверки условий. В зависимости от того, что происходит с условиями, естественная последовательность может быть нарушена. Для этой цели каждая машина снабжается специальной командой или группой команд, которые называются командами перехода или командами нарушения последовательности.

Программист должен уметь производить модификацию, для чего над командами и операндами выполняются специальные операции. В нашем случае, к примеру, если обнаружен тупик, то в команду номер 1, означающую начало движения, следует подставить адрес элемента коридора, с которого решено продолжать поиск. Хранение команд наряду с операндами в памяти ЭВМ и возможность выполнения операций над командами точно так же, как и над операндами, это второй основной закон работы ЭВМ.

Что нам осталось добавить к сказанному? Изображенная на рисунке 8 и столь подробно рассмотренная последовательность действий называется циклом. Цикл может входить внутрь программы или внутрь прямоугольника (программисты говорят, блока), помеченного словом «Модификация». В случае бросания монеты, то есть образования случайного числа, выполняется программа, наверняка имеющая вид цикла. Подобная ситуация получила название цикла в цикле или вложенных циклов. Любая серьезная программа представляет собой очень много циклов, вложенных друг в друга.

Вот и вся премудрость! Пусть читатель рассудит

сам. Неужели здесь есть нечто такое, чему нельзя было бы научиться, если не за день, то хотя бы за неделю? Топ-топ, топ-топ... Стоп — разветвление. Куда? Направо. И снова топ-топ... Недаром оказалось, что лучшими программистами являются школьники младших классов. Наверное, потому, что у них нет предрассудков, а все только что описанное очень напоминает игру.

В мире сейчас работают около миллиона программистов. Работают с полной отдачей сил, и еще примерно десять лет тому назад считалось нормой, если программист писал в день около трех команд. Конечно, имеются в виду команды, вошедшие в окончательный текст программы после выполнения весьма трудоемкой и порядком-таки нудной процедуры, называемой отладкой.

В чем же дело, если все так просто? Дело в том, что мало-мальски сложная программа, имеющая практическое значение, содержит десятки, а то и сотни тысяч команд. Человеку свойственно ошибаться, и как раз при написании программ это свойство проявляется в наибольшей степени. Все команды похожи друг на друга, не за что, как говорится, зацепиться глазу, ошибки здесь неизбежны. А вот отыскать ошибку — задача на редкость трудная. Для этого, грубо говоря, нужно кропотливо проделать все то, что по этой программе должна делать ЭВМ. Но ЭВМ выполняет миллионы операций в секунду, а программист на такую скорость не способен. Специально для отладки в ЭВМ ввели пошаговый режим, когда в результате нажатия кнопки машина выполняет одну-единственную команду и сообщает результат программисту.

Но и это еще не все. Тому, кто хоть однажды бродил в настоящем лабиринте, хорошо понятно, как легко попасть в так называемый порочный круг, то есть снова и снова ходить по одним и тем же коридорам. Такая же опасность поджидает и программиста. Обнаружить порочный круг среди сотен тысяч команд — задача архисложная, вот почему и получалось всего три команды за день напряженной работы.

Но отсюда же и ярчайший парадокс, связанный с развитием информатики. Надеемся, что мы дали читателю достаточно данных для того, чтобы к тем же выводам он пришел самостоятельно. Научиться программировать очень просто. Здесь нет ничего такого, что

требовало бы какой-то серьезной подготовки или изощренной работы ума. Трудно не сделать ошибки. И еще труднее сделанную ошибку обнаружить. В том-то и парадокс.

Если ЭВМ что-то особенное умеет — она умеет не ошибаться. Современная ЭВМ четвертого поколения работает без единого сбоя, скажем, месяц по двадцать четыре часа в сутки и выполняет за это время, повторяем, без единой ошибки $2{,}5 \cdot 10^{12}$, то есть два с половиной триллиона, операций. Почему же это замечательное свойство ЭВМ не использовали с самого начала?

НА ПУТИ К ВОЗМУЖАНИЮ

Так все выглядит теперь, поскольку говорили мы о младенчестве ЭВМ, об их первом поколении. Причина столь жесткой опеки ЭВМ со стороны программиста заключалась в основном в характеристиках самих ЭВМ. Быстродействие было настолько мало (порядка тысячи операций в секунду против современных миллиардов), а память настолько ничтожна, что желать чего-то большего было бы явно неоправданно.

Глядя с позиций сегодняшнего дня, нельзя закрывать глаза и на другую причину, которая, несомненно, влияла на развитие и применение вычислительной техники. В чем она состояла? Общественное мнение, которое разделялось и специалистами, утверждало безапелляционно: ЭВМ способна лишь слепо выполнять введенную в нее программу. Все, что касается программирования, есть прерогатива человека. Мнение это повторялось на разные лады и в технической и в художественной литературе. Конечно, в таких условиях трудно было отойти от принятых шаблонов.

Как шло дальнейшее возмужание ЭВМ? Вначале (совсем по Библии) было слово, точнее, появились языки. Их назвали алгоритмическими. Основным в каждом машинном языке стало понятие идентификатора, то есть произвольного сочетания букв и цифр. Идентификаторы использовались как имена операндов (говоря высоким «штилем»), а попросту говоря, каждый идентификатор представлял собой условное обозначение ячейки памяти, в которой хранится данный операнд. Тем самым

ЭВМ доверили сложнейшую задачу — выписать из программы все идентификаторы, расположить их в любом удобном для нее порядке, а затем присвоить им порядковые номера, которые одновременно (как и в доязычный период) служили адресами ячеек. Если в данной ячейке памяти предполагалось хранить не операнд, а команду, то соответствующий идентификатор получал название не идентификатора, а метки.

Следующей языковой единицей стало так называемое выражение. Это не что иное, как цепочка команд, в которой ни при каких условиях не нарушается естественная последовательность. В подавляющем большинстве языков допускалось использование лишь арифметических и логических выражений (упорно считалось, что машина должна только вычислять). Поэтому в выражении команды записывались в виде знаков, общепринятых для обозначения соответствующего арифметического или логического действия. Например, «+» для сложения или «V» для логической операции *ИЛИ*.

Машине оказали огромное доверие выбрать из выражения все знаки, обозначающие операции, расположить их в нужном порядке и связать соответствующими операндами. Выражению в языках присваивался смысл числа или значения соответствующей логической переменной. Иначе говоря, с позиции языка предполагалось, что все входящие в выражение операции уже выполнены и результат подсчитан.

Следующую группу языковых единиц составляли операторы. Что они представляют собой? Лучше всего показать это на примере простейшего из них — оператора присваивания. Смысл оператора присваивания состоит в том, что данному идентификатору присваивается некоторое значение, например, значение какого-то арифметического выражения. Все это опять-таки говоря высоким «штилем», а по-простому означает, что нужное значение записывается в ячейку памяти, обозначаемую данным индентификатором.

Кроме оператора присваивания, практически в каждом языке (общее число их, мы забыли об этом сказать раньше, давно перевалило за тысячу) встречаются еще три оператора. Оператор перехода просто предписывает, начиная с определенного момента, переходить к вы-

полнению фрагмента программы, помеченного меткой, входящей в состав этого оператора.

Оператор цикла заслуживает того, чтобы остановиться на нем подробнее. С небольшими изменениями грамматическая форма оператора цикла имеет вид:

FOR C STEP D UNTIL E DO.

Здесь: FOR — это слово, говорящее о том, что мы имеем дело с оператором цикла. Далее (мы обозначили этот фрагмент буквой C) перечисляется условие входа в цикл. Это может быть простейшая запись $x=1$. Она означает, что программа начинает выполняться при значении переменной x, равном единице. Затем следует слово STEP, указывающее на то, что за ним в той или иной форме заданы условия модификации (у нас эти условия обозначены как D). В простейшем случае запись STEP 1 означает, что после очередного возврата к началу цикла значение переменной x увеличивается на единицу.

Наконец, слово UNTIL указывает на то, что за ним формулируются условия окончания. Например, UNTIL $x<100$ означает, что обходы циклов продолжаются до тех пор, пока значение переменной x остается меньше ста. Само тело программы записывается после только что разобранной строки.

Снова, в который раз, хочется задать вопрос: только и всего? Но все усугубляется еще одним интересным обстоятельством. Сравните нашу строку с рисунком 8. Конечно, это одно и то же. Только на рисунке надо заполнить содержанием пустые геометрические фигуры (прямоугольники и ромб), а в языковой конструкции — заполнить тем же самым содержанием пробелы между словами FOR и STEP, UNTIL и DO. Оператор цикла представляет собой некий формализм. Чем заставлять программистов заучивать правила его образования, можно было сразу поручить все это делать ЭВМ.

Последний из упомянутых трех операторов — условный — имеет вид:

IF C THEN A ELSE B,

что читается (в том числе и ЭВМ) так: если условие C удовлетворяется, переходи к выполнению фрагмента про-

граммы А, в противном случае переходи к выполнению фрагмента программы В.

Человек, хорошо усвоивший все сказанное, с полным основанием может считать, что он овладел соответствующим языком программирования. Не сомневаемся, что подобное утверждение встретит яростное возражение со стороны профессионалов-программистов, но тем не менее это так. С помощью выражений и перечисленных операторов можно составить любую, без каких-либо исключений, программу. Это не частное мнение авторов данной книги, а строго доказанный факт, представляющий собой содержание знаменитой теоремы академика В. Глушкова.

Иное дело, что каждый конкретный язык предоставляет программисту некоторые дополнительные удобства. Как правило, имеются средства, позволяющие систематизировать операнды, оформив их в виде своего рода таблиц (их называют массивами). Язык содержит определенное количество функций, например, функцию синус можно вычислить, просто записав SIN(x), где x — значение.

Хватит подробностей. Наша беседа ни в коей мере не претендует на роль руководства по программированию. Позволили языки уменьшить трудоемкость программирования? Несомненно, да. Прежде всего человек получил возможность не корпеть над бесконечными последовательностями нулей и единиц, перейдя вместо этого к более привычным ему строчкам букв и цифр. Во-вторых, отпала необходимость держать в голове или вырисовывать на листе бумаги все ячейки памяти. При реальном программировании приходится иметь дело с десятками и сотнями тысяч таких ячеек. Отпала необходимость выполнять рутинную работу, например, по оформлению циклов.

Вместе с языками, естественно, появились средства перевода с этих языков на язык машины, так называемые трансляторы. Одновременно с основной функцией перевода трансляторы выполняют также функцию строжайшего контроля соблюдения грамматических правил. Это совершенно необходимо. Как, к примеру, машина отличает адрес операнда (идентификатор) от адреса команды (метки)? Способ единственный: если после строчки букв и цифр следует двоеточие (так не во всех

языках, а только в языке Алгол), значит, это метка. В противном случае — идентификатор.

Строгий грамматический контроль имеет большое положительное значение, так как с его помощью вылавливаются многие ошибки программиста. Увы! Программист продолжает ошибаться, даже пользуясь самым совершенным алгоритмическим языком. Столь щепетильная придирчивость ЭВМ к грамматическим ошибкам заставляет тратить слишком много времени на возвраты программ и исправление ошибок. ЭВМ вполне заслуживает того, чтобы ей доверили самостоятельно исправлять большую часть грамматических ошибок типа забытых запятых.

Нельзя обойти молчанием и то, что появление алгоритмических языков, да еще различных, добавило в изрядно заполненную всевозможными терминами мусорную корзину нашего человеческого языка еще немалую толику. Никогда не забудем, какое количество сил пришлось затратить, чтобы усвоить наконец, что за премудрость кроется под магическим словом «идентификатор»! И какая взяла злость, когда стало ясно, что идентификатор всего лишь адрес ячейки памяти.

Заканчивая рассуждения о языках, мы лишь повторим то, что уже сказано на страницах этой книги по поводу изучения языков вообще. Сейчас много говорят о всеобщей компьютерной грамотности и в первую очередь связывают ее с изучением алгоритмических языков. При этом процесс обучения даже простейшему языку, скажем Бейсику, возводится в рамки самостоятельной сложной проблемы. Мы продолжаем придерживаться собственной точки зрения. Конечно, можно поступать и так: сначала вызубрить наизусть все руководство к языку, а это книжка объемом не менее полусотни страниц, и только потом начинать им пользоваться. При подобной методике процесс обучения займет не меньше чем полгода. Мы настойчиво советуем использовать неоднократно проверенный и на самих себе, и на нескольких сотнях учащихся метод. Выучить только то, что сказано на предыдущих страницах, и ничтоже сумняшеся садиться за клавиатуру ЭВМ. Все остальное придет само, и вы даже не заметите как.

ГУВЕРНЕРЫ

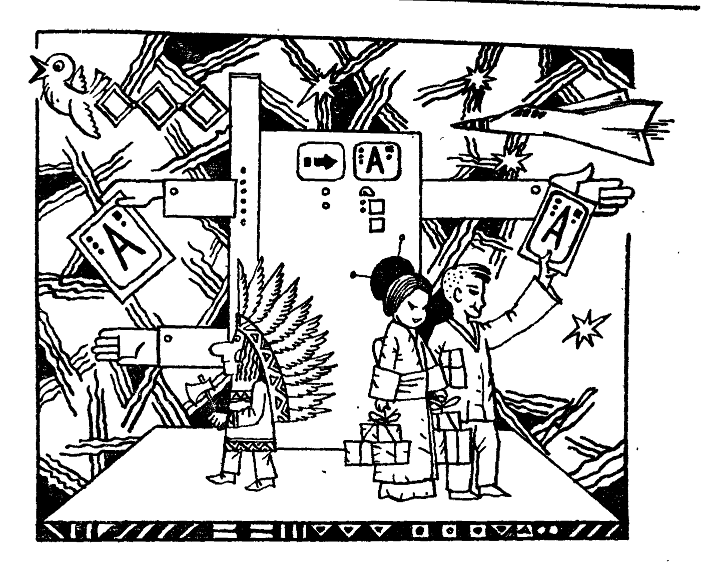
Помните бессмертные строчки Пушкина?

Судьба Евгения хранила,
Сперва мадам за ним ходила,
Потом месье ее сменил.

И с ЭВМ так же было. Прежде всего ЭВМ научилась говорить. При этом ей предложили сразу несколько языков на выбор, а подчас предлагалось пользоваться несколькими языками одновременно. Каждому языку соответствовала своя программа-транслятор, которая, кроме основной функции собственно перевода с одного языка на другой, выполняла много других. В их числе уже упоминавшееся выявление ошибок, восприятие текста, вводимого в машину (это делалось разными способами), а также подготовка и вывод текстов, предназначенных для пользования.

Постепенно стало ясно, что совмещать все функции в одной программе-трансляторе нецелесообразно. Почему? Хотя бы по той простой причине, что если машина оперирует сразу с несколькими языками, то и трансляторов в ее памяти хранится несколько, а в определенной части своих функций они дублируют друг друга. Было решено сохранить за трансляторами основную функцию перевода и частично контроля. Кроме того, появилось много разнообразных программ — редакторов, компоновщиков, организаторов, с помощью которых несколько фрагментов, написанных на разных языках, объединялись в единый последовательный текст (одну программу).

Сейчас имеет смысл отметить такую очень важную особенность. Большинство алгоритмических языков являются открытыми в том смысле, что их словарный состав непрерывно пополняется, как, собственно, это и происходит с естественными языками. Что это означает применительно к алгоритмическим языкам? Если вы написали некую программу, например программу для игры в «кошки-мышки», и она оказалась удачной, а главное, есть основания полагать, что она понадобится еще много раз, то эту программу можно разместить в памяти машины на постоянное жительство. Вызов ее из памяти и приведение в действие осуществляются по спе-



циальному слову, которое вводится в состав языка, — такое слово получило название макрорасширения.

По мере работы ЭВМ количество макрорасширений увеличивается, растет объем библиотеки программ. Возникает потребность организовать эту библиотеку точно так же, как это делается с обычными книжными библиотеками. В памяти машины размещают каталог, в котором описания программы располагаются в определенном порядке. Каждое описание содержит назначение программы, язык, на котором она написана, указание по приведению ее в действие и другие данные. При достаточно большом количестве программ подобное каталожное хозяйство оказывается сложным и представляет собой самостоятельную, весьма важную систему ЭВМ.

В одной из предыдущих бесед мы говорили, что большие ЭВМ третьего поколения способны обслуживать одновременно несколько коллективов пользователей. Можно сделать даже более сильное заявление. Один человек-пользователь не в силах загрузить работой ЭВМ третьего поколения, относящуюся к классу больших. Что такое большая ЭВМ? Это мы уточним несколько позже. Так вот, к началу 70-х годов отмеченное обстоятельство представляло собой весьма крупную

проблему. В чем же дело? Час работы большой ЭВМ стоит дорого (у нас — порядка 50—60 рублей), причем эти деньги тратятся независимо от того, работает кто-то с ЭВМ или нет. Отсюда и возникла идея организации режима разделения времени, то есть организации одновременной работы ЭВМ с несколькими пользователями.

Владельцев больших ЭВМ беспокоило то обстоятельство, что в ночные часы не удается загрузить ЭВМ работой, так как пользователи предпочитают ночью спать. Между тем выход из положения нашелся. В чем он состоял? Ночью предоставлять машинное время пользователям, проживающим в других часовых поясах. К примеру, вычислительный центр, расположенный в Калифорнии, обслуживал японских пользователей, причем оказалось экономически оправданным даже применение для этих целей спутниковых каналов связи.

Здесь напрашивается весьма существенное уточнение. Говоря о языках, мы отметили, что любой язык заменяет конкретные номера ячеек памяти, хранящих операнды, специальными словами-идентификаторами. Таким образом, возникло разделение устройств ЭВМ на физические и логические. Физическая ячейка памяти — это совершенно конкретная ячейка, имеющая, например, порядковый номер 77500 и расположенная в интегральной схеме на панели запоминающего устройства ЭВМ десятой справа во втором ряду. Эта ячейка обозначается последовательностью символов, например ХУ2, которая и представляет собой идентификатор, или логическую ячейку памяти. По мере развития ЭВМ та же идея начала применяться и к другим устройствам. Автомат, оперирующий с кредитными карточками, представляет собой конкретное физическое устройство. Но в ЭВМ ему присвоен определенный код, и этот код представляет собой логический автомат для чтения кредитных карточек.

Соответствия между логическими и физическими устройствами сохраняются достаточно долго, но могут изменяться. Если некий магазин отказывается от услуг банка, физический автомат в его салоне демонтируется, а принадлежавший автомату код присваивается другому автомату. Более простая, но в то же время чаще встречающаяся ситуация — это когда ЭВМ при необходимости вывести полученный результат отыскивает

то устройство вывода, которое в данный момент свободно, и присваивает ему кодовое обозначение.

Итого мы насчитали четыре вида программ: во-первых, программы-трансляторы, во-вторых, программы — редакторы, компоновщики и контролеры, в-третьих, программы — организаторы библиотек, наконец, в-четвертых, программы, создающие и обслуживающие таблицы соответствия между физическими и логическими устройствами. Имеется пятый вид программ, наводящих порядок в очереди пользователей в случае, когда действует система разделения времени. Шестой вид программ управляет работой остальных пяти, выполняет функции администратора.

Все это вместе взятое получило название системы программного обеспечения, или, как часто говорят, операционной системы.

В 60-х и 70-х годах операционные системы стремительно развивались. Дело дошло до того, что в отдельных случаях до 90 процентов ресурсов ЭВМ затрачивалось исключительно на внутренние нужды, то есть на работу операционной системы, и лишь 10 процентов ресурсов доставалось пользователям.

Однако нас с вами сейчас интересует другое. ЭВМ как таковая оказалась отделенной от пользователя прочным кольцом всевозможных программ операционной системы. Единственной ниточкой, связывающей ЭВМ с пользователем, оставался тот или иной язык. Написав программу на определенном языке и передав ее на исполнение, пользователь не имел ни малейшего представления, какие устройства ЭВМ, каким образом и когда выполняют его программу. С течением времени эта языковая ниточка стала еще тоньше.

Подобная изоляция ЭВМ от пользователя часто приобретала физические формы. Во многих вычислительных центрах пользователь даже близко не подпускался к ЭВМ. Программы принимались у него операторами через маленькие окошечки, подобные кассовым. Таким же путем он получал отпечатанные на бумаге результаты. Но опять же не станем вдаваться в подробности, а констатируем главное. По мере развития операционной системы ЭВМ оказалась отделенной от пользователей прочной и высокой стеной всевозможных трансляторов, редакторов и т. п.

МУНДИР! ОДИН МУНДИР!

Буквально в тот день, когда появились ЭВМ, а может быть даже раньше, родилось и безапелляционное мнение: для того чтобы некоторая задача решалась ЭВМ, она должна быть облачена в мундир, иначе говоря, одета в форму, то есть формализована. Если сказать совсем просто, задача должна быть записана в виде системы математических уравнений. Никому в голову не пришло задуматься, так ли все обстоит на самом деле. Просто раз навсегда было принято, что ЭВМ — машина вычислительная, математическая, выполнять она должна арифметические операции и соответственно этому задача должна быть формализована. Самое поразительное, что подобное мнение до сих пор ни у кого не вызывает сомнений, несмотря на то, что ЭВМ давно научились переводить с одного языка на другой (имеются в виду естественные языки), писать стихи, ставить медицинские диагнозы, создавать совсем неплохие, особенно по современным стандартам, музыкальные произведения и многому другому.

Ровно столько времени, сколько существуют ЭВМ, существуют люди, стремящиеся доказать, что возможности ЭВМ принципиально ограниченны и в области переработки информации ЭВМ никогда не сравняются с людьми. В свое время, примерно в середине 60-х годов, творческие возможности ЭВМ служили предметом для жарких дискуссий. На эту тему писались книги, созывались международные конференции. Кто-то из специалистов тогда пошутил, что понятию «творческая деятельность» может быть дано единственное определение: творчество — это то, чего не могут ЭВМ. При этом, добавил он, по мере внедрения ЭВМ во все новые и новые сферы деятельности это определение должно непрерывно эволюционировать.

Сейчас споры поутихли, но убеждение осталось. Трудно удержаться и не привести здесь частенько повторяемое в литературе высказывание о том, что ученые, как правило, вообще не способны менять своих убеждений. Если в науке случается так, что торжествует некая новая теория, как это в свое время произошло, например, с квантовой физикой, то только потому, что сторонники старой теории постепенно вымирают.

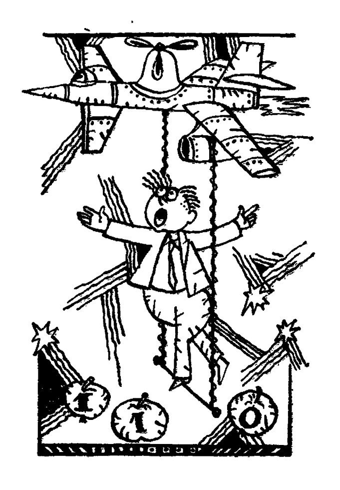
Недавно нам довелось прочитать в одном журнале суждение, с которым хочется поспорить. Его автор вынужден был признать, что в настоящее время ЭВМ играет в шахматы на уровне гроссмейстеров и, несомненно, в ближайшее время не только достигнет, но и превысит высший уровень. Однако тут же добавляет: такая ЭВМ только и может играть в шахматы, а человек-шахматист способен и на многое другое. Вряд ли стоит спорить с тем, что достаточно сменить магнитную ленту и та же ЭВМ, недавно обыгравшая гроссмейстера, превратится в прекрасного врача-диагноста. Тут, как говорится, комментарии излишни.

На затронутую тему мы еще поговорим. Только вот какое соображение приходит в голову. Как сегодня практикуется? Поработав на ЭВМ, человек сразу выключает ее. А почему бы, собственно говоря, не дать ей возможность поразмышлять на досуге? Почему не подключить ЭВМ, скажем, к радиосети, откуда она могла бы черпать новую информацию? Технически это не представляет особых трудностей. ЭВМ давно уже подключены к телефонным сетям и не только воспринимают информацию, но и управляют их работой. Почему бы, наконец, не снабдить ЭВМ органами технического зрения, которыми снабжают роботов, и не дать ей возможность в свободное время понаблюдать окружающий мир?

Так или иначе, но пока мы можем констатировать следующее. С одной стороны, рядовой пользователь, некий специалист, достаточно далекий от математики (биолог, химик, педагог, продавец в магазине), работает с ЭВМ все чаще и чаще. Более того, имеются профессии, например оператор атомной электростанции, где работа вообще немыслима без ЭВМ. С другой стороны, пользователь отделен от ЭВМ не одной, а двумя стенами. Внутреннее кольцо укреплений составляют программисты и созданные ими операционные системы. Внешнее кольцо — алгоритмисты (их называют аналитиками или специалистами по прикладной математике), занимающиеся формализацией — переводом содержания задач с языка пользователя на язык математики.

Хорошо это или плохо? Дать однозначный ответ было бы слишком смело. Но факт остается фактом —

пользователь отлучен от ЭВМ, не представляет всех ее возможностей и вряд ли в таких условиях способен реализовать их в достаточной мере. ЭВМ, в свою очередь, отлучена от пользователя, не знает его потребностей, и это в значительной степени лишает ее возможности самосовершенствоваться. При всем при том в мире существует огромная армия (одних программистов насчитывается около миллиона) людей, единственная задача которых — переводить с одного языка на другой. В таких условиях нельзя не задуматься о том, что, вероятно, существуют способы обойтись без посредников. Размышления подобного рода и привели к появлению информатики.



Беседа седьмая

САМОДЕЛЬНЫЙ РАЗУМ

МНИМЫЙ НЕМОЙ

В одном весьма аристократическом и во многих отношениях благополучном английском семействе не было детей. Были испробованы все респектабельные и некоторые даже не очень респектабельные средства, но шли годы, и постепенно все были вынуждены свыкнуться с тем фактом, что род четырнадцатого баронета должен угаснуть.

И вдруг, когда давно были оставлены последние надежды, родился наследник. Семейное событие, ставшее сенсацией для всего лондонского высшего света! Газета «Таймс» посвятила ему прочувствованную публикацию.

Но никогда не следует забывать, как опасно иметь дело с судьбой. По прошествии трех лет со дня рождения стало ясно: мальчик немой. Снова были пущены в ход все средства. Приглашались на консультацию крупнейшие европейские и заокеанские светила, не были забыты экстрасенсы, тибетские ламы и старые бабки с запасами паутины. Все напрасно, и, что самое главное,



ни один специалист не нашел никаких отклонений. Гортань, голосовые связки, электроэнцефалограмма — все оказалось в пределах нормы. Годы шли, и, как прежде, последние искры надежды сменились покорностью судьбе.

В день конфирмации наследника собралось довольно много гостей. Было весело, как может быть весело в респектабельном английском доме с неизбежным оттенком даже не грусти, а некоторой сдержанности. И вот, когда большинство уже заканчивало десерт, за столом раздался звонкий мальчишеский голос:

— Пудинг пережарен!

Вряд ли нашелся бы мастер, способный передать кистью, пером или новейшими средствами, например скрытой камерой, то, что последовало. Когда эмоции несколько улеглись, отец мальчика первым вернулся к действительности. Подойдя к сыну, он положил ему руку на плечо и спросил:

— Почему же ты молчал все эти долгие четырнадцать лет?

— Да как-то до сих пор все было в порядке, — ответил сын.

Вопрос о том, когда следует, а когда не следует

вступать в диалог, будет одним из центральных в этой беседе. Кроме того, разобравшись в предыдущих беседах, разумеется, в общих чертах, как устроена ЭВМ, мы посмотрим, как решает ЭВМ поставленные перед ней задачи.

АВТОМАТЫ И ЖИЗНЬ

В предыдущих беседах мы постарались в общих чертах обрисовать те пути, по которым развивалась информационная индустрия, а также основные идеи, положенные в основу ее строительства. Настала пора поговорить о том, какие задачи сегодня ставятся перед информатикой и к чему надо стремиться. Но сначала, естественно, следует выяснить, что может современная информатика, каковы перспективы ее будущего развития и есть ли какие-нибудь принципиальные пределы этому развитию?

Задача информационной индустрии — получение, хранение, передача и преобразование информации. Но примерно тем же самым (за исключением, может быть, передачи) занимается человеческий мозг. Поэтому очевидным является желание сравнить возможности информационных систем и человеческого мозга. Таким образом, хотим мы того или нет, мы приходим к вопросам: может ли машина мыслить и может ли она быть умнее человека?

Оба вопроса возникли сразу после появления первых ЭВМ, то есть в середине 50-х годов, и немедленно вызвали бурную дискуссию. Вначале все выглядело просто.

— Ваши ЭВМ, — утверждали противники искусственного разума, — содержат несколько тысяч электронных ламп и потребляют сотни киловатт электроэнергии. Человеческий мозг содержит несколько миллиардов нервных клеток. ЭВМ, содержащая несколько миллиардов электронных ламп, окажется величиной с небольшой город. Из нескольких миллиардов ламп каждую секунду обязательно хоть одна будет перегорать. Значит, создание устройства переработки информации, равноценного мозгу с точки зрения количества элементов, невозможно, и на этом следует поставить точку.

Что можно возразить? Интересно вот что. Всякий раз, когда появляется новое направление в науке и технике, будь то информатика, квантовая физика, космонавтика или что-либо иное, сразу возникают две группы людей Первые — те, кто непосредственно создает новое направление. Они увлеченно работают, и, как правило, их мало волнует, к чему в конце концов это направление приведет. Им просто некогда об этом думать. Вторая группа — те, кто, не сделав практически ничего для развития нового направления, с большой охотой о нем рассуждают. Противникам машинного разума почти никто не возражал, во всяком случае, выступления сторонников машинного разума до сих пор насчитываются единицами, но разного рода доказательства невозможности для машины мыслить множились с невероятной быстротой. И хотя оставалось неясным, зачем доказывать то, что много раз провозглашалось очевидным и против чего почти никто не возражает, они множились и множились.

Время шло. Летом 1962 года в США экс-чемпион штата Коннектикут по шашкам Роберт В. Нили впервые за восемь лет потерпел поражение. Его противник начал играть в шашки совсем недавно — в 1955 году, однако быстро усвоил все тонкости игры. Разумеется, мистеру Нили поражение не доставило радости. Его даже не утешала мысль о том, что победу над ним одержала ЭВМ модели ИБМ-7094. Машина победила быстро и четко, без подсказок со стороны. Как автомат научился играть в шашки? Точно так же, как и человек — с помощью наблюдений и на практике, разбираясь в ошибках и запоминая их, чтобы не повторять в будущем.

Опытные шашисты, наблюдая партию, не усомнились бы, что машина обладает высокоразвитым мышлением. Она просчитывала позиции на двадцать ходов вперед и руководствовалась стратегией, поистине достойной чемпиона. Словом, со стороны все выглядело так, будто ЭВМ руководствуется собственным разумом. Конечно, машина не имела разума в человеческом смысле, но в данном конкретном случае — при игре в шашки — она вела себя так, словно обладала хорошо тренированным мышлением.

На деле ЭВМ выполняла только то, для чего и была

предназначена, — производила простейшие арифметические операции. Она складывала, вычитала, сдвигала, сравнивала и запоминала числа, состоящие из двух цифр — нуля и единицы. ЭВМ выполняла действия над числами в соответствии с программой, основанной на правилах игры в шашки и подготовленной человеком. Замечательно то, что доктор Артур Л. Сэмюэль, написавший программу игры в шашки, не был сильным шашистом. Он не составлял, да и не мог бы составить конкретного плана игры, который привел к поражению чемпиона Нили.

Зачем вообще машине играть в шашки? На первый взгляд, использование большой и дорогостоящей ЭВМ для игры в шашки просто ненужное трюкачество, не имеющее никакой ценности для науки и техники. Однако доктор Сэмюэль преследовал куда более серьезную цель, чем просто научить ЭВМ, как добиться победы над мистером Нили. Игру в шашки он выбрал как пример разумных действий, повинующихся точно определимым и несложным правилам, которые могут быть выражены в форме, пригодной для использования в ЭВМ. Главная задача опыта — продемонстрировать существование методов обучения ЭВМ.

Когда ИБМ-7094 начала играть в шашки, она делала только самые простые ходы. В ту пору она была «неопытным новичком», и даже ребенок мог бы ее обыграть. Но программа работы предусматривала запоминание на магнитной ленте последовательностей игры, приводящих к выигрышу или прохождению пешки в дамки. Так как одна бобина магнитной ленты позволяет хранить многие миллионы цифр, ЭВМ оказалась в состоянии запомнить огромное количество вариантов партии с хранящимися в ее запоминающем устройстве и делала такой ход, какой, по опыту, давал максимальные шансы на выигрыш.

Чем больше ЭВМ играла, тем больший опыт накапливала. Это позволило создавать и запоминать обобщенные варианты игры, вырабатывать тактику, обеспечивающую сохранение инициативы и защиту от прохождения в дамки. Накопив опыт нескольких тысяч партий, машина ИБМ-7094 стала систематически обыгрывать доктора Сэмюэля, считающего себя «весьма средним игроком». Настал день, когда знания машины

в области стратегии и тактики шашек превзошли возможности ее учителя. Сам Нили писал по этому поводу: «В эндшпиле машина играла превосходно и не сделала ни единой ошибки. С 1945 года, когда я в последний раз остался в проигрыше, мне не приходилось встречаться со столь сильной контригрой, особенно в конце партии». Сегодня каждый желающий может сыграть с ЭВМ в шахматы, например, в одном из павильонов ВДНХ. Лучшие шахматные программы позволяют ЭВМ играть примерно в силу кандидата в мастера. Между ЭВМ устраиваются международные шахматные турниры.

ЭВМ пишут стихи, создают музыкальные произведения, пробуют свои силы в изобразительном искусстве. Все это, конечно, своеобразные развлечения. Основные силы ЭВМ были направлены на автоматическое проектирование, и достигнутые в этой области результаты не менее впечатляющи, чем выигрыш у чемпиона. Сказались ли все успехи ЭВМ на позициях противников машинного разума? Только в одном: стало понятно, что просто отмахнуться от подобных вопросов нельзя и заняться ими надо всерьез. А заняться всерьез означает прежде всего определить, что такое разум вообще.

Тут-то началось самое интересное. Оказалось, этого никто не может. Делалось множество попыток, и все они кончались одинаково. Как только давалось очередное определение разума, немедленно появлялась программа, позволяющая ЭВМ делать то же самое.

Наиболее серьезную попытку в этом направлении сделал А. Тьюринг (1912—1954). Он предложил такой тест. Предположим, вы ведете беседу по телефону с невидимым собеседником. Если по результатам беседы вы не в состоянии определить, кто является вашим собеседником — человек или машина, а на самом деле собеседником является машина, то такая машина разумна. В ответ появилось сразу несколько программ, позволяющих проводить подобные беседы. Дискуссии продолжались.

Наконец были вынуждены выступить те, кого с полным правом можно считать творцами современной информатики. 6 апреля 1961 года на методологическом семинаре механико-математического факультета МГУ



академик А. Колмогоров прочитал доклад «Автоматы и жизнь». В частности, он тогда сказал:

«Поставленный нами вопрос тесно связан с другими: а что такое жизнь, что такое мышление, что такое эмоциональная жизнь, эстетические переживания? В чем, скажем, состоит отличие последних от простых элементарных удовольствий — от пирога, например, или еще чего-нибудь в этом роде? Если говорить в более серьезном тоне, то можно сказать следующее: точное определение таких понятий, как воля, мышление, эмоции, еще не удалось сформулировать. Но на естественно-научном уровне строгости такое определение возможно. Если мы не признаем эту возможность, то окажемся безоружными против аргументов солипсизма...

В заключение следует остановиться на вопросах, касающихся, если можно так сказать, этической стороны идей кибернетики. Встречающиеся часто отрицание и неприятие этих идей проистекают из нежелания признать, что человек является действительно сложной материальной системой, но системой конечной сложности и весьма ограниченного совершенства и поэтому доступной имитации. Это обстоятельство многим кажется унизительным и страшным. Даже воспринимая эту

идею, люди не хотят мириться с ней, такая картина всеобъемлющего проникновения в тайны человека, вплоть до возможности, так сказать, «закодировать» его и «передать по телеграфу» в другое место, кажется им отталкивающей и пугающей. Встречаются опасения и другого рода: а допускает ли вообще наше внутреннее устройство исчерпывающее объективное описание? Предлагалось, например, поставить перед кибернетикой задачу научиться отличать по объективным признакам существа, нуждающиеся в сюжетной музыке, от существ, в ней не нуждающихся. А вдруг поанализируем-поанализируем — и окажется, что и в самом деле нет никакого разумного основания выделять такую музыку как благородную по сравнению с другими созвучиями.

Мне представляется важным понимание того, что ничего унизительного и страшного нет в этом стремлении постичь себя до конца. Такие настроения могут возникать лишь из полузнания: реальное понимание всей грандиозности наших возможностей, ощущение присутствия вековой человеческой культуры, которая придет нам на помощь, должно производить огромное впечатление, должно вызывать восхищение! Все наше устройство в самих себе понятно, но понятно и то, что это устройство содержит в себе колоссальные, ничем не ограниченные возможности.

На самом деле нужно стремиться этот глупый и бессмысленный страх перед имитирующими нас автоматами заменить огромным удовлетворением от того факта, что такие сложные и прекрасные вещи могут быть созданы человеком, который еще совсем недавно находил простую арифметику, чем-то непонятным и возвышенным».

Казалось бы, наконец все стало ясно. Как бы ни изощрялись противники машинного разума, нужно в конце концов отдать себе отчет в том, что существуют лишь две позиции. Или мы признаем, что человеческий организм, включая мозг, представляет собой физическую систему, состоящую из конечного числа атомов. Такая система воспроизводима если не сегодня, то в обозримом будущем. Если же этого не признавать, не остается ничего другого, как поверить в святой дух, который согласно библейской легенде вдохнул господь бог

в свое творение из глины. Проблема эта относится к такой категории, где третьего, как говорится, не дано.

Несмотря на все, вопрос этот не решен до сих пор. Конечно, жизнь заставила отказаться от многих аргументов, например от аргументов, связанных с количеством нервных клеток. О достижениях интегральной технологии мы уже говорили. Если проанализировать сегодняшнее состояние проблемы, то оказывается, что практически все возражения сводятся к следующим трем.

ЭВМ не обладает самостоятельностью, а лишь слепо выполняет то, что предписано ей программой. Поэтому шахматный матч между ЭВМ на самом деле является матчем не между ЭВМ, а их программистами.

По всей вероятности, существует фундаментальный закон, аналогичный закону сохранения энергии, кладущий предел интеллектуальным возможностям искусственных систем. Едва этот закон будет открыт, все станет на свои места, а пока попытки создать думающую машину аналогичны столь распространенным в свое время попыткам построить вечный двигатель.

Машина не думает и не творит. Она представляет собой усилитель соответствующих способностей человека точно так же, как экскаватор представляет собой усилитель его мускульной силы.

С удовлетворением отмечаем, что из множества когда-то высказывавшихся аргументов сохранилось только три. Но и эти три без труда опровергаются.

Несомненно, что ЭВМ работает по программе. Но ведь и человек, каким бы родом деятельности он ни занимался, использует то, чему он научился. А к примеру, любая спортивная победа является победой не только спортсмена, но и его тренера. Тем не менее ЭВМ способна превзойти своего учителя (мы не зря привели пример с шашечной программой), как и человеку свойственно превосходить своих учителей.

Мы верим в справедливость закона сохранения энергии главным образом потому, что до сих пор никогда в природе не обнаруживались факты, его опровергающие. Что касается закона, ограничивающего интеллектуальные способности, то он опровергается наличием физической системы — человек.

Настала пора авторам уточнить свою позицию. С са-

мого начала мы не хотели ввязываться в дискуссию о машинном разуме. Гораздо важнее нам представляется следующее. В современных условиях мы ставим не только наше благосостояние, но и наше здоровье и даже саму жизнь в зависимость от функционирования автоматических устройств. Мы делаем это, спускаясь на эскалаторе в метро, поднимаясь к себе домой на лифте, путешествуя на самолете или поезде, наконец, просто оставаясь дома, потому что системы водоснабжения и отопления также управляются автоматами.

Усовершенствование автоматических систем и лежащей в их основе информатики для нас имеет первостепенное значение. Вряд ли целесообразно провозглашать наличие каких-то принципиальных пределов развитию автоматических систем. Если для чьего-то самолюбия оказывается менее болезненным называть ЭВМ усилителем умственных способностей, пусть будет так. В конечном итоге важен результат деятельности, а не его название. Пусть экскаватор лишь усиливает мускульную энергию человека, хотя делает он это, черпая энергию из собственного источника. Однако давно уже настала пора поговорить о результатах деятельности информационных систем, а не о том, как их называть.

ВО ВЛАДИВОСТОКЕ

В середине 60-х годов в доме отдыха «Седанка» под Владивостоком собралась очередная конференция по вопросам кибернетики. В памяти всех ее участников сохранилась поразительная, неповторимая красота дальневосточной природы. Сопки, покрытые кедровником, серо-синие прибрежные скалы, омываемые волнами Тихого океана. Несмотря на то что дело было осенью и температура воды в океане не превышала пятнадцати градусов, почти все мы купались. Да и как можно удержаться, если, нырнув хоть раз, обязательно выплываешь с экзотическим трофеем в виде морской звезды, морского конька или на худой конец красивой раковины.

Но не меньшие впечатления остались и от состава участников. Собрались на редкость интересные люди, и стихийно возникло нечто, подобное актерским капуст-



никам. По вечерам мы собирались в холле дома отдыха, и кто-нибудь из коллег выступал с беседой, посвященной наиболее интересным на его взгляд результатам какого-либо из частных направлений того, что тогда еще не получило названия информатики. Ярче всего запомнилась беседа Д. Поспелова. Дмитрий Александрович Поспелов — человек весьма разносторонний. Ему принадлежит целый ряд результатов в области структуры ЭВМ, однако чаще всего его имя связывается с предложенными им и его учениками методами ситуационного управления. Но тогда Дмитрий Александрович посвятил свою беседу не собственным результатам, а теории коллективного поведения автоматов. Теория коллективного поведения автоматов начала развиваться в работах М. Цетлина (1924—1966) и его учеников. После его безвременной кончины самые существенные результаты в теории коллективного поведения автоматов были получены В. Варшавским.

Наверное, для большинства читателей сочетание слов «автомат», «поведение», «коллектив» кажется не совсем обычным. Но если по отношению к автомату можно говорить, что он «ведет себя» в том же смысле, в каком мы применяем это понятие к живым сущест-

вам, и в частности к людям, то появляются основания называть много взаимодействующих между собой автоматов коллективом. А коли так, можно говорить о поведении автоматов.

Давайте определим термин «поведение» и постараемся сделать это так, чтобы предельно приблизить наше определение к общепринятому бытовому значению этого слова. Про ученика, сидящего на уроке, говорят, что он ведет себя хорошо, если он находится в относительной неподвижности и не произносит слов, не относящихся к уроку. Однако этим же условиям почти полностью отвечает и парта, стоящая в классе, но про парту не говорят, что она «ведет себя хорошо». Следовательно, для того чтобы претендовать на свойства поведения, недостаточно находиться в неподвижности и молчать.

Почему же все-таки при равных условиях наделяют свойством поведения ученика и не наделяют этим же свойством парту? По всей вероятности, потому, что ученик может и не сидеть неподвижно, а к примеру, играть с соседом в перышки, стучать крышкой парты и проделывать много других шалостей. Именно потому и говорят, что он «ведет себя», поскольку из множества доступных ему поступков он выбирает определенные, следуя при этом (или не следуя, тогда говорят, что он ведет себя плохо) некоторой системе правил.

Но ведь то же самое можно сказать о швейной машине. Швейная машина выполняет много различных операций (действий) на основании системы правил, которые задаются предварительной установкой соответствующих рычагов. И все-таки о швейной машине не говорят, что она «ведет себя хорошо». Наделяя свойством поведения живое существо, мы предполагаем, что не все поступки нашего объекта обусловливаются, во всяком случае в явном виде, некоторой системой правил. Мы наделяем живое существо свободой воли, способностью совершать поступки, не мотивированные тем состоянием внешней среды, в которой оно находится. На таких условиях последовательную цепь совершенных объектом поступков мы называем поведением.

Все сказанное позволяет определить термин «поведение» следующим образом. Объект «ведет себя» или, иначе говоря, обладает свойством поведения, если удовлетворяются два условия. Во-первых, различные воз-

действия объекта на окружающую его среду, или реакции объекта, достаточно разнообразны. Во-вторых, последовательность таких реакций — это и есть поведение — совершается на основании системы правил, в большинстве случаев связывающих эти реакции с существующим в данный момент прошлым, а иногда и будущим состоянием внешней по отношению к объекту среды. Возможны и такие реакции, которые представляются нам необусловленными или даже противоречащими системе правил. Словом, реакции объекта иногда могут быть непредсказуемыми или предсказуемыми частично.

Обратите внимание на слово «иногда». Относительно объекта, все реакции которого непредсказуемы, не говорят, что он обладает свойством поведения. Объект, отвечающий второму условию, является объектом вероятностным, стохастическим.

Приведенное определение, конечно, не совсем строго. Прежде всего остается неясным, что значит «достаточно большое разнообразие». Неясно и то, в каком соотношении между собой должны находиться предсказуемые и непредсказуемые реакции. Однако на первых порах, чтобы разобраться в сути дела, достаточно и того, что сказано. Рассматривая цепочки последовательных реакций, можно говорить также о степени соответствия этих реакций состояниям внешней среды. Если установлены критерии такого соответствия и если цепочки реакций объекта в установленном смысле отвечают этим критериям, то говорят, что поведение объекта является целесообразным или даже разумным.

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИЛИ РАЗУМ!

Разобравшись в понятии «поведение», мы заодно узнали, что такое автомат. Автоматом можно назвать любую конструкцию, которая способна в данный момент времени находиться в одном из некоторого конечного набора состояний, а также в зависимости от тех или иных причин переходить из одного состояния в другое.

Хорошо бы ввести и понятие «среда». Среда — это нечто, способное находиться в каждый момент времени в одном из некоторого конечного набора состояний.

Но обладает она и еще важным свойством. Для каждой пары: «состояние автомата — состояние среды», — среда способна выдавать некоторый выигрыш. Выигрыши различны для различных пар. Они могут быть и отрицательными. Отрицательный выигрыш рассматривается как проигрыш, наказание.

Теория позволяет легко посчитать, что если поведение автомата никак не связано с состояниями среды, иначе говоря, по отношению к среде автомат ведет себя случайным образом, то суммарный выигрыш за большой промежуток времени оказывается равным среднему по всем возможным выигрышам. Средний выигрыш может быть как положительным, так и отрицательным, в зависимости от конкретной среды.

Пусть некоторый автомат в некоторой заданной среде получает выигрыш, больший среднего. Поведение такого автомата называют целесообразным. Подобное определение совпадает с привычным бытовым понятием целесообразности. Более того, если бы речь шла не об автомате, а о человеке и мы бы видели, что этот человек в некоторых условиях способен добиться выигрыша, мы наверняка назвали бы его поведение разумным. Однако суть не в названии.

Простейшим из всех автоматов, очевидно, является автомат, способный принимать только два состояния. Каждый раз, получая от среды выигрыш со знаком плюс (поощрение), автомат сохраняет свое состояние, а получая выигрыш со знаком минус (наказание), автомат меняет свое состояние на противоположное. Такой автомат подобен деревенскому дурачку, играющему на гармошке только две мелодии — веселую и грустную. Встречает он на улице свадьбу, начинает играть грустную мелодию и, по всей вероятности, получает по шее. На другой день, встречая похоронное шествие, он играет веселую мелодию (переключился в другое состояние) — снова получает по шее и так далее. Поведение подобного автомата не является целесообразным. К такому же выводу приводит и строгая теория.

Представьте себе более сложный автомат, состоящий из двух простых. Один из них — рабочий автомат, а второй — автомат памяти. Состояния рабочего автомата называются действиями. Эти действия восприни-

маются средой, и в ответ на каждое действие рабочего автомата среда выдает выигрыш того или иного размера. Иначе обстоит дело со сменой действий рабочего автомата. Они изменяются не в зависимости от выигрыша или проигрыша, а в зависимости от состояния автомата памяти.

Автомат памяти можно уподобить лесенке с перенумерованными ступеньками. Самая нижняя ступенька имеет номер один, следующая за ней — номер два и так далее. Каждому состоянию автомата соответствует нахождение шарика на какой-либо ступеньке. Рабочий автомат меняет свое состояние только в том случае, если шарик в автомате памяти расположен на ступеньке номер один.

В теории рассматривается целое семейство таких автоматов. Первый в этом семействе — автомат с линейной тактикой. При получении положительного выигрыша (поощрения) автомат с линейной тактикой сохраняет свое состояние (действие). При этом шарик в автомате памяти поднимается на ступеньку вверх. Наоборот, при получении наказания шарик в автомате памяти опускается на ступеньку вниз.

Автомат с линейной тактикой — автомат рассудительный. Если, например, шарик лежал на ступеньке номер три и автомат был наказан, шарик опустится на ступеньку номер два, но своего действия рабочий автомат не изменит. Автомат лишь «настораживается». Только после третьего наказания рабочий автомат принимает меры, то есть меняет свое состояние. Наоборот, несколько следующих друг за другом поощрений заставляют автомат «успокоиться» — шарик поднимается все выше и выше.

Теория показывает, что в стационарной среде, в условиях, когда смена состояний среды происходит случайно, но вероятности каждого из состояний не изменяются во времени, автомат с линейной тактикой демонстрирует целесообразное поведение. При неограниченном увеличении числа состояний памяти автомат с линейной тактикой способен получить выигрыш, максимально возможный в данной среде.

Теория коллективного поведения рассматривает семейство автоматов, близких к автомату с линейной так-

тикой. Среди них особый интерес представляет автомат В. Крылова. При поощрении он ведет себя как автомат с линейной тактикой. А при наказании он с равной вероятностью либо увеличивает на единичку состояние памяти, либо, наоборот, уменьшает ее на единицу. Автомат Крылова фаталист. Столкнувшись с неудачей, он предпочитает, фигурально выражаясь, как бы подбросить монетку и целиком ей доверяется. Если монета упала кверху орлом, автомат настораживается, а если решкой — успокаивается. Теория говорит нам, что можно поступать и так. Во всех стационарных случайных средах автоматы Крылова не только демонстрируют целесообразное поведение, но и способны добиться максимального выигрыша при неограниченном увеличении количества состояний памяти.

Существенным здесь является то, что среда стационарна. Однажды привыкнув к такой среде, автомат в дальнейшем может ни о чем не беспокоиться, потому что среда не меняет своих свойств. Иначе обстоит дело в переключаемых средах, у которых вероятности различных состояний изменяются время от времени.

Теория коллективного поведения утверждает, что в переключаемой среде автомат с линейной тактикой хотя и демонстрирует целесообразное поведение, но не может достичь максимального выигрыша. Лучшее, чего он может добиться, это некоторого выигрыша, и то при определенном количестве состояний памяти. Выигрыш снижается в обоих случаях, если количество состояний памяти увеличивается или уменьшается.

В условиях переключаемой случайной среды существенное значение имеет «зрелость» автомата. «Пожилой» автомат, накопивший большой жизненный опыт, прекрасно ведет себя в неизменных условиях, но плохо приспосабливается к изменениям условий. «Юный» автомат, вообще не имеющий никакого опыта, также не может претендовать на существенный выигрыш. Выигрывает тот, кто, обладая достаточным опытом, все еще гибок и легко меняет свои привычки.

До сих пор мы говорили об одиночных автоматах. А как же коллектив? Ведь теория, выводы которой мы сейчас рассматриваем, называется теорией коллективного поведения автоматов.

Коллективное поведение ярче всего проявляется, когда автоматы играют друг с другом в различные игры. При этом для каждого конкретного автомата все остальные автоматы-партнеры представляют собой среду.

Методы исследования поведения одного из автоматов в данной среде могут быть перенесены на случай игры нескольких автоматов. Правда, в таком случае среду нельзя считать стационарной или даже переключаемой, поскольку каждый автомат постоянно меняет свою стратегию и соответственно этому меняются свойства среды.

Наиболее ярким примером игр нескольких автоматов служит игра в размещения. Она напоминает следующую ситуацию. Имеется некоторое количество источников с разной производительностью. Например, источник номер один, выдающий в час сколько-то единиц чего-то, источник номер два, выдающий в час еще какое-то количество чего-то, и так далее. Имеется несколько потребителей, в интересы которых входит получить как можно больше от источников. При этом каждый потребитель в данный момент времени может питаться лишь от одного источника, но не знает, питаются ли уже от этого источника другие потребители.

Предположим, в процессе приспособления некоторому потребителю удалось подсоединиться к источнику, дающему максимум, например 50 единиц в час. Второй потребитель в результате аналогичного процесса приспособления подсоединился к тому же источнику, и вдвоем они начали получать только по 25 единиц. А при этом существует источник меньшей мощности, дающий, скажем, 37 единиц.

Есть основания предположить, что в описанных условиях потребители каким-то образом распределятся между источниками, но при этом они вряд ли сумеют получить максимум, хотя бы потому, что никто не захочет питаться от источника с минимальной производительностью и продукция этого источника будет расходоваться впустую. Правда, у них есть возможность получать максимум продукции. Она состоит в том, чтобы каждый потребитель получал продукцию неважно от какого источника, лишь бы все источники были заняты. Имеется в виду, что количество потребителей равно или

превышает число источников. Затем весь полученный продукт они складывают вместе и делят поровну между всеми потребителями. Поведение потребителей, додумавшихся до такой возможности и использовавших ее, мы, наверное, назовем вполне разумным.

Как ведут себя в подобных условиях автоматы? Исследования на основе методов теории коллективного поведения автоматов показывают, что если не давать возможности автоматам «заглядывать» в память друг друга — обмениваться информацией, — уже при небольшой емкости памяти они достигают наибольшего в этой ситуации выигрыша. Дальнейшее увеличение опыта приводит лишь к снижению их выигрыша. Если дать возможность автоматам обмениваться информацией, то «глупые» автоматы с небольшой емкостью памяти не используют преимуществ объединения и в результате получают даже меньше, чем разобщенные автоматы в аналогичных условиях. В то же время «умные» автоматы (в данном случае умными оказались автоматы с количеством состояний памяти больше шести) используют преимущества объединения и получают средний выигрыш, значительно больший, чем в предыдущем случае.

Речь идет не о каких-то сложнейших программах ЭВМ, а в общем-то о совершенно примитивных конструкциях. Конечно, для получения только что описанных результатов никто не изготовлял автоматы с линейной тактикой. Их поведение моделировалось с помощью ЭВМ. Но при желании автомат с линейной тактикой можно сделать из тех же дощечек и гвоздиков, которые мы использовали для построения машины, решающей задачу о волке, козе и капусте. Так что, наверное, самое правильное — это прекратить бесплодные споры о том, чего мы даже не умеем определить, и сосредоточить усилия ученых на извлечение максимальной пользы из наших помощников ЭВМ. Кстати сказать, методы теории коллективного поведения автоматов могут с успехом использоваться, например, при решении задачи о наилучшем распределении работ между членами бригады, задаче, имеющей огромное значение сейчас, когда происходит повсеместный переход на хозрасчет, самофинансирование и самоокупаемость.

ГАНГСТЕРЫ-ПРОГРАММИСТЫ

Современные ЭВМ делятся на три основных класса: большие, средние и микро. До последнего времени существовал промежуточный класс, мини-ЭВМ, но они постепенно растворились — частично среди средних, а частично среди микроЭВМ. По всей вероятности, такая же судьба уготована средним ЭВМ, однако в этой книге мы не ставим себе целью делать прогнозы.

Что такое большая ЭВМ? Ее быстродействие, то есть количество простых (типа сложения) операций, выполняемых за одну секунду, достигло рекордной отметки миллиард — в сто тысяч раз больше, чем у «Стрелы». Объем памяти измеряется в гигабайтах, то есть в миллиардах байт, где байт — последовательность, состоящая из восьми бит. С учетом возможности организации так называемой виртуальной памяти объем ее вообще не ограничен сверху. Большая ЭВМ работает одновременно с многими абонентами, число которых доходит до десятков тысяч. Абоненты могут быть сколь угодно удалены от ЭВМ, даже находиться на другом континенте.

Приведем хотя бы такой пример. В связи с непрерывно растущей преступностью в капиталистических странах получили большое распространение кредитные карточки. Кредитная карточка — это пластмассовый прямоугольник размером примерно с карманный календарик. На нем — полоска из магнитного материала, на которой нанесены все необходимые данные. Вы входите в магазин и, выбрав покупку, подходите к кассе. Вместо денег подаете кассиру кредитную карточку. Кассир вставляет карточку в специальную щель кассового аппарата. По телефонной линии аппарат автоматически связывается с большой ЭВМ, установленной в банке, та отыскивает ваш текущий счет и передает кассовому аппарату сумму остатка. Из этой суммы вычитается стоимость покупки и в текущий счет вносится соответствующее изменение. Вам же кассовый аппарат выдает чек и «благодарит» за покупку.

Главное, на что здесь надо обратить внимание, — в ЭВМ хранятся сотни тысяч, а может быть, миллионы счетов. Одновременно к ней обращаются десятки тысяч покупателей, в том числе и находящиеся в других горо-

дах и даже в других странах, а вся описанная операция занимает несколько секунд.

Таких примеров можно было бы привести много. Большие ЭВМ способны управлять движением сотен самолетов в районе аэропорта, продавать авиационные и железнодорожные билеты, при этом в памяти хранится положение всех поездов (самолетов), курсирующих по дорогам страны, и состояние (свободно — занято) всех мест в вагонах и самолетах с дополнительной информацией — если место занято, то когда освободится. В этой связи можно привести интересную подробность. Министерство транспорта Народной Республики Болгарии намерено приступить к созданию собственной системы резервирования и продажи железнодорожных билетов. Пока же эти функции выполняет советская система «Экспресс», связанная по телефону с билетными кассами Болгарии. Что касается авиации, то уже больше десяти лет функционирует система, отслеживающая местоположения всех авиапассажиров, в каком бы уголке планеты они в данный момент ни находились.

Всесоюзный институт научной и технической информации (ВИНИТИ) АН СССР и Госкомитет по науке и технике СССР составляет краткие рефераты, в среднем около десяти строчек, всех без исключения научных публикаций, выходящих в мире, — порядка 1 миллион 250 тысяч рефератов в год. Эти рефераты помещают в память вычислительной системы, получившей название «Ассистент» и выполняющей все операции, связанные с их подготовкой к печати. Она постоянно хранит их в памяти, и в течение нескольких секунд можно либо извлечь текст любого реферата, либо получить подборку рефератов на заданную тему. Наверное, скоро настанет время, когда к системе «Ассистент» мы будем обращаться по телефону.

Перед тем как распрощаться с большими ЭВМ, подведем некоторые итоги. Сейчас во всем мире примерно один процент, а может быть меньше, мощности больших ЭВМ затрачиваются на решение весьма сложных и, несомненно, важных математических задач, иначе говоря, на вычисление. Только этот процент и может служить оправданием тому, что в названии ЭВМ еще сохранилось слово «вычислительная». Девяносто девять про-

центов мощности больших ЭВМ затрачивается на выполнении операций, объединенных под общим названием «обработка данных».

Интересно, что при обработке данных почти не используются никакие «таланты» ЭВМ, кроме большого быстродействия и больших объемов памяти. На первый план здесь выступают методы систематизации и непосредственно связанные с ними методы баз данных. Систематизация — это основа современной информационной индустрии. Конечным итогом всякой работы в области систематизации являются базы данных. Методам создания баз данных посвящен большой и бурно развивающийся раздел информатики. Если забыть про упомянутый выше один процент, можно было бы сказать, что большие ЭВМ используются сегодня как средства поддержки (хранилища) базы данных.

Следует помнить еще об одном важном обстоятельстве. С большими ЭВМ связана определенная «идеология», сводящаяся к тому, что каждая база данных обеспечивает одновременный доступ большому количеству (десятки и сотни тысяч) пользователей. Это именно «идеология», которая сама по себе порождает множество проблем, в том числе так называемую проблему несанкционированного доступа. Действительно, любой пользователь в принципе может не только получить любую информацию, что само по себе не всегда желательно, но и исказить, а подчас разрушить содержимое базы данных.

Появление в капиталистических странах кредитных карточек и других способов финансовых расчетов с использованием ЭВМ породило новую породу гангстеров. Современный гангстер — программист экстра-класса, сидящий за пультом ЭВМ и пытающийся разгадать те хитрости, к которым прибегают программисты из противоположного лагеря для защиты базы данных. Квалификация и тех и других непрерывно повышается, средства становятся все более изощренными.

— Ну а результат? — поинтересовались мы у одного из сотрудников французского банка «Лионский кредит».

— И так бывает, и этак, — смущаясь, ответил он.



КУДА ДЕВАТЬСЯ СЕРЕДНЯКАМ?

Большие ЭВМ с самого начала строились как универсальные средства широкого назначения. Слово «универсальная» даже входило в название некоторых из них. Логика развития привела к тому, что именно большие и сверхбольшие ЭВМ сегодня, как правило, узкоспециализированы. Это всякий раз либо система продажи билетов, либо телефонное справочное бюро, либо хранилище банковских счетов, либо нечто другое в том же роде.

Значительно труднее определить «экологическую» нишу для средних ЭВМ. Более того, трудно даже определить, что такое вообще ЭВМ среднего класса. Лет пять тому назад сказали бы, что к среднему классу следует относить ЭВМ с объемом памяти в несколько миллионов байт, быстродействием несколько миллионов операций в секунду, с развитой системой устройств внешней памяти, с обязательным набором магнитных дисков и магнитных лент. Стоил такой комплекс сотни тысяч долларов.

На сегодня аналогичные показатели по объему памяти и быстродействию достигнуты или почти достиг-

нуты микроЭВМ. Что касается магнитных дисков и магнитных лент, есть все основания полагать, что они скоро уступят свое место полупроводниковым микросхемам массовой памяти. Так или иначе, но ЭВМ среднего класса с перечисленными характеристиками сегодня существуют, и еще не настало время делать категорические прогнозы.

Применение их весьма разнообразно. Они составляют, к примеру, основу вычислительного центра небольшого предприятия и решают задачи чрезвычайно широкого спектра, начиная от управления технологическими процессами и кончая расчетами заработной платы. В этих делах им присуща высокая степень универсальности. Та же ЭВМ среднего класса может быть использована в более крупной системе в качестве коммуникационного процессора, и единственная ее задача в этом случае — посылать запросы, принимать, должным образом организовывать, систематизировать и отсылать дальше блоки информации — сообщения. Так, глобальная система слежения за авиапассажирами в США состоит из одной большой ЭВМ, размещенной на западном побережье страны, и ЭВМ среднего класса, установленных в столицах нескольких государств.

ЭВМ-МАЛЮТКИ

Перейдем наконец к микроЭВМ. Исторически они появились последними, и прогресс их был поистине стремительным. На сегодня количество работающих микроЭВМ исчисляется десятками миллионов. Отличительные их черты, прежде всего малые габариты — от нескольких кубических дециметров до нескольких кубических сантиметров, малая масса — десятки граммов, малая потребляемая мощность — единицы ватт и малая стоимость — от ста до тысячи долларов. Объем оперативной памяти составляет сейчас сотни тысяч байт, и нет никаких сомнений в том, что скоро он начнет измеряться мегабайтами. Быстродействие микроЭВМ исчисляется миллионами операций в секунду и неуклонно продолжает увеличиваться.

Главная отличительная черта микроЭВМ, определяющая связанную с ними идеологию, это то, что они

по всем параметрам представляют собой средство индивидуального пользования. Имеются в виду не только микроЭВМ, обслуживающие одного человека-пользователя, но и микроЭВМ, встроенные в автомобильный или тепловозный двигатель, навигационно-пилотажный комплекс самолета, станок с программным числовым управлением или кассовый аппарат (их называют также микроконтроллерами).

Если в основу идеологии больших ЭВМ был положен принцип «коллектив пользователей, обслуживаемый одной ЭВМ», то для микроЭВМ — это «коллектив микроЭВМ, обслуживающий одного пользователя», определяющий структуру самих микроЭВМ. Все они имеют магистрали, или шины, что дает возможность без дополнительных операций соединять между собой любое количество микроЭВМ или подсоединять к одной микроЭВМ добавочные устройства. Благодаря этому микроЭВМ стремятся объединять в многопроцессорные системы. Отдельные микроЭВМ могут располагаться на значительных расстояниях друг от друга.

Многопроцессорная система, в которой отдельные микроЭВМ распределены в пространстве, называется вычислительной сетью.

Сейчас много говорят о локальных вычислительных сетях. Локальная вычислительная сеть — сеть, сосредоточенная, например, в пределах одного учреждения или предприятия. Довольно часто вычислительная сеть подсоединяется как единое целое к большой ЭВМ.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЫ В СРЕДЕ ЭВМ

Хороший пример структуры на основе микроЭВМ дают нам интеллектуальные терминалы. Мы уже говорили, что большие ЭВМ, как правило, работают с коллективами пользователей. Каждый пользователь, естественно, имеет свое рабочее место, снабженное всеми необходимыми средствами для эффективного обмена информацией между ним и ЭВМ. В последние годы такое место представляет собой видеодисплей, то есть устройство с электронно-лучевой трубкой, на которую выводятся либо до 24 строк по 80 символов в строке, либо всевозможные графические изображения, в том

числе и цветные. Дисплей снабжается клавиатурой, а зачастую и световым пером, позволяющим вводить в ЭВМ графическую информацию. Кроме того, рабочее место пользователя часто комплектуется печатающим устройством и в случае необходимости — устройствами записи на магнитную ленту.

Это рабочее место универсального назначения. Существуют также узкоспециализированные рабочие места, как, например, кассовый манипулятор железнодорожного или авиационного билетного кассира. Во всех случаях основная цель при создании рабочего места — обеспечить максимальную эффективность обмена информацией между пользователем и ЭВМ. Это достигается, во-первых, наибольшей возможной скоростью передачи информации от пользователя к пользователю, во-вторых, снижением до минимума количества ошибок и случаев взаимного непонимания пользователя и ЭВМ.

Скорость обмена информацией ограничивается двумя факторами: возможностями ЭВМ и возможностями пользователя. ЭВМ работает одновременно с большим количеством (это могут быть десятки тысяч) пользователей, которые, грубо говоря, стоят в очереди. Количество ошибок уменьшается благодаря различным сервисным средствам, предоставляемым пользователю. В последнее время особое внимание уделяется диалоговому режиму. В диалоге с пользователем инициатива принадлежит ЭВМ, а пользователь часто ограничивается односложными ответами типа «да» — «нет». При этом, естественно, снижается скорость обмена информацией.

В подобных условиях эффективность повышается, когда диалог реализуется на рабочем месте без обращения к большой ЭВМ. Рабочее место в таком случае снабжается микроЭВМ. Подобная комбинация и получила название интеллектуального терминала. МикроЭВМ берет на себя все функции организации диалога, включая необходимые уточнения и исправление ошибок. Если в обмене присутствует графическая информация, микроЭВМ переводит изображение с экрана электронно-лучевой трубки в последовательность символов. В результате образуется компактное сообщение, передаваемое в большую ЭВМ за одно обращение.

Аналогичным образом сообщение большой ЭВМ снабжается необходимыми комментариями, редакти-

руется в соответствии с принятыми форматами и предоставляется пользователю. При наличии графических элементов микроЭВМ строит соответствующее изображение на основе последовательностей символов, полученных от большой ЭВМ.

Дальнейшее развитие этого принципа. МикроЭВМ интеллектуального терминала решает вопрос, нужно ли передавать запрос пользователя в большую ЭВМ или она способна ответить ему самостоятельно. Система интеллектуальных терминалов представляет собой промежуточную стадию между системой массового обслуживания на основе большой ЭВМ и локальной вычислительной сетью.

СЕТИ

Сегодня наиболее типичными информационными системами являются уже упоминавшиеся локальные сети. Локальная сеть состоит из одной относительно большой ЭВМ и нескольких соединенных с ней микроЭВМ, или, как их иначе называют, персональных ЭВМ. Современные микроЭВМ не так уж малы. Их оперативная память позволяет хранить сотни тысяч байт, что вполне достаточно для хранения больших программ и больших массивов данных. Быстродействие современной микроЭВМ оценивается величиной в миллион операций в секунду, что также вполне достаточно для решения многих «индивидуальных» задач.

Но локальная сеть для того и создается, чтобы реализовать принцип «ничего лишнего». Все информационные запасы, которые могут понадобиться, а могут и не понадобиться индивидуальному пользователю, хранятся в памяти большой ЭВМ и черпаются оттуда по мере необходимости. Кроме того, микроЭВМ имеет возможность заглянуть в память соседки. Правда, такая возможность ограничивается теми областями памяти, которые предназначаются для всеобщего обозрения.

Таким образом, пользователь персональной ЭВМ имеет возможность решать свои собственные задачи, если они не превышают некоторых средних размеров. Он может обращаться за дополнительной информацией в память большой машины или поручить большой ЭВМ решение задач, непосильных для персональной ЭВМ.

Наконец, локальная сеть позволяет организовать коллективный процесс обработки информации, который совершается под руководством со стороны большой ЭВМ.

Столь большие успехи, достигнутые в области ЭВМ или, в более широком смысле, технических средств переработки информации, привели к тому, что самым узким местом оказываются средства обмена информацией между человеком и информационной системой. ЭВМ, если можно так выразиться, предпочитают эпистолярный стиль. Для ввода данных, как правило, используется клавиатура, аналогичная клавиатуре пишущей машинки, а данные, выводимые из ЭВМ, либо печатаются на бумаге, либо опять-таки в виде последовательностей букв и цифр выводятся на экран дисплея. Правда, в последнее время появилась возможность вводить и выводить информацию, имеющую форму рисунков и даже цветных картин.

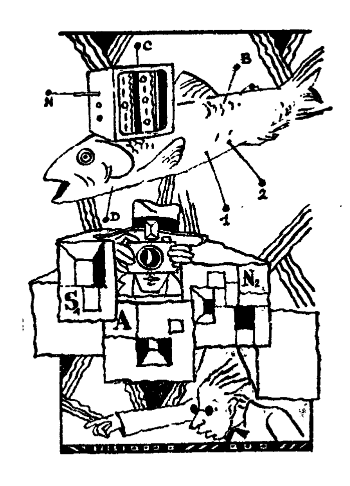
Эффективность общения с ЭВМ увеличилась бы во много раз, если бы осуществлять обмен информацией голосом. Попытки научить ЭВМ распознавать слова, произнесенные голосом, начались вскоре после появления самих ЭВМ. Сначала казалось, что задача эта не слишком сложна, затем, однако, встретился целый ряд трудностей, причем таких, что до сих пор проблема распознавания голоса полностью не решена, хотя определенные успехи на этом пути достигнуты. Распознавание голоса, распознавание рукописных текстов и перевод с одного языка на другой — вот три задачи, которые пока еще не поддаются эффективному решению на ЭВМ и по этой причине служат постоянными аргументами противников машинного разума.

В чем же дело? Разговаривать ребенок начинает очень рано, так что, наверное, задача не так уж сложна. В этой связи вспоминаются опыты, производившиеся в 50-х годах в акустической лаборатории Московской консерватории Л. Терменом. Лев Сергеевич Термен известен как изобретатель первого в мире электромузыкального инструмента, который был назван терменвоксом и оказался родоначальником большого семейства современных электромузыкальных инструментов. Кроме создания электромузыкальных инструментов, Л. Термен демонстрировал и необычные для того времени опы-

ты — заставлял певицу петь басом, а певца колоратурным сопрано.

Сущность опытов состояла в том, что каждое слово, произносимое человеческим голосом, разлагается на несколько составляющих — формант. Каждая форманта, в свою очередь, состоит из основного тона и обертонов. Л. Термен сначала разлагал вокальное произведение на отдельные форманты, затем заменял у каждой форманты основной тон на более высокий или более низкий, сохраняя соотношения между основным тоном и обертонами. После этого осуществлялся синтез формант, и мы слушали алябьевского «Соловья», исполняемого низким басом.

Если можно разложить речь и затем снова синтезировать ее, в таком случае непонятно, почему нельзя, анализируя формантный состав, распознать смысл произносимых слов? Тем, кого этот вопрос действительно интересует, мы предложим провести очень простой эксперимент. Попросите вашего приятеля продиктовать вам по телефону несколько десятков слов, по возможности не очень вам известных, лучше всего терминов незнакомой вам науки, и не имеющих между собой смысловых связей. Вы сразу убедитесь, что по меньшей мере в половине случаев придется просить вашего собеседника диктовать слова по буквам. Дело совсем не в том, что качество телефонной связи низкое. Просто в процессе обычной беседы вы не столько слышите отдельные слова, сколько угадываете их, главным образом по контексту, ведь тема вам известна. Сталкиваясь с совершенно незнакомыми словами, вы попадаете в то же самое положение, что и ЭВМ, которая пока еще не может понимать, о чем идет речь.



Беседа восьмая
СОТРУДНИЧЕСТВО

ТРИ ЖЕЛАНИЯ

Английский солдат, много лет прослуживший в Индии, вернулся домой. В числе прочих трофеев он привез с собой талисман, способный выполнить любые три, но только три, желания. Дома он застал свою семью пребывающей в полной нищете. Недолго думая, солдат извлек талисман и сказал, что ему немедленно нужна тысяча фунтов стерлингов. Тут же раздался стук в дверь. Вошел представитель фирмы, на заводе которой работал старший сын отставного солдата.

— Произошло несчастье, — сказал он. — Ваш сын попал в машину, и спасти его не удалось. Фирма уполномочила меня вручить вам страховую премию в размере тысячи фунтов стерлингов.

Солдат схватил талисман и высказал ему свое второе желание, чтобы сын немедленно вернулся домой. Тут же распахнулась дверь и, пошатываясь, явился изуродованный труп. Третье желание солдата состояло в том, чтобы все снова стало как раньше.



Эту старую сказку цитировали много раз, но мы решили повторить ее, поскольку она имеет прямое отношение к содержанию этой беседы. В связи с кибернетикой одним из первых приводил эту сказку Н. Винер в работе, посвященной тому, что он называл кибернетическим фетишизмом. При всей мощи методов кибернетики, предупреждал Н. Винер, ни при каких условиях нельзя возлагать ответственность на автоматические системы. Колдовские силы, писал он, имея в виду кибернетические системы, не обязаны знать, что вы не хотите получить тысячу фунтов ценой жизни собственного сына. Подобное предупреждение становится все более и более актуальным по мере развития кибернетических систем.

АСУ!

Особенно бурно дискуссия об умственных способностях ЭВМ проходила в начале 60-х годов. Большинство участников подобных дискуссий начисто отказывали ЭВМ в способности мыслить. Тем более интересно, что именно в это время решено было доверить ЭВМ ни больше и ни меньше как управление государством. Ну,

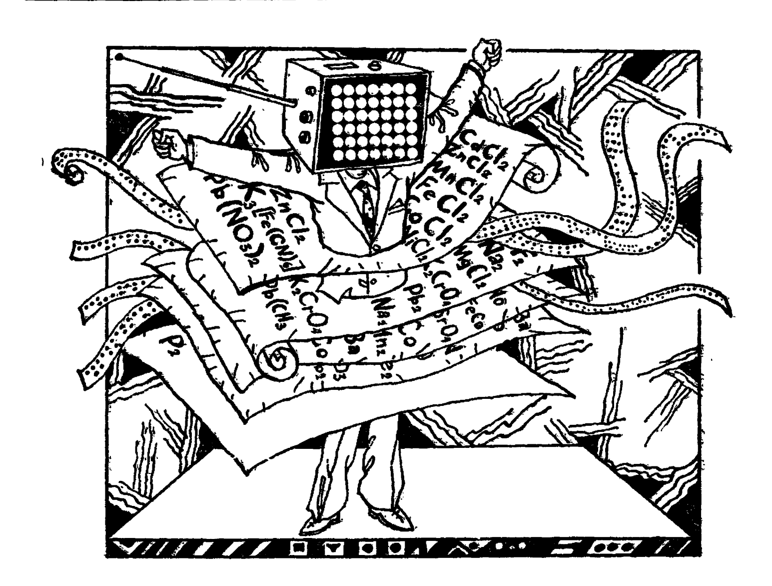
говоря об управлении государством, мы, конечно, допустили преувеличение, но не так уж далеко отошли от истины. Тогда, в начале 60-х годов, была провозглашена программа создания АСУ, то есть автоматизированных систем управления отраслями промышленности (подчеркнем -- это важно, — речь шла об административном управлении), и считалось, что со временем все АСУ будут объединены в общегосударственную автоматизированную систему — ОГАС.

Справедливости ради следует указать, что во всех этих названиях использовалось слово «автоматизированные», а не «автоматические», которое расшифровывалось как человеко-машинные. Предполагалось, что ЭВМ будут выступать в роли советчиков, но окончательное решение при всех условиях будет принимать человек. С такими оговорками считалось, что повсеместное внедрение АСУ в кратчайшие сроки должно привести к всеобщему благосостоянию.

Что такое отраслевая АСУ? По замыслам, это должно было выглядеть так. Где-то в центре установлена большая ЭВМ, соединенная каналами связи со всеми предприятиями отрасли. Ежедневно, а возможно и несколько раз в день, каждое предприятие передает информацию о выполнении плана, наличии сырья, комплектующих изделий и многих других параметрах, характеризующих производственный процесс. Вся информация накапливается и обобщается в памяти ЭВМ. Первая задача АСУ должна была состоять в том, чтобы на основании накопленной информации готовить всевозможные сводки и передавать эти сводки людям, занятым в административно-управленческом аппарате. Цель сводок — заменить, а в некоторых случаях дополнить существовавший до внедрения АСУ документооборот.

ЭВМ исправно решали эти задачи, и скоро наступило время, когда во всех министерствах на столах у сотрудников, кроме привычных писем на официальных бланках, можно было видеть аккуратно сложенные стопки бумаг с перфорацией по краям, изготовленных ЭВМ. Похоже, что никому из авторов проектов АСУ не приходил в голову простой вопрос: а будет ли кто-нибудь читать эти сводки?

Оговоримся сразу — мы отнюдь не склонны ставить



под сомнение добросовестность всех сотрудников административно-управленческого аппарата. Речь идет о другом. Когда в процессе выработки решения кому-нибудь из руководителей не хватает информации, он запрашивает соответствующее предприятие — современные средства дозволяют это делать достаточно быстро независимо от расстояния — и получает ответ на интересующий его вопрос. А ЭВМ не знает, какой вопрос может возникнуть у руководителя. Поэтому она объединяла в сводку всю информацию, и руководителю предстояло выбрать подчас одну-единственную цифру среди десятков тысяч. За отсутствием других критериев производительность АСУ до самого последнего времени измерялась в количестве «выданных на-гора» десятичных цифр, и количество это измерялось миллионами и сотнями миллионов.

Вторая задача АСУ состояла в выработке рекомендаций. Для этой цели использовались математические методы и в первую очередь методы математического программирования. Сущность всех методов математического программирования, а на сегодня их разработано довольно много, состоит в том, что сначала выбирается некоторая переменная величина, называемая целевой

функцией. Затем устанавливаются зависимости целевой функции от множества других переменных величин, характеризующих производственные процессы. Для каждой из этих величин устанавливаются ограничения, в пределах которых они могут изменяться. Каждый метод математического программирования позволяет определить такую совокупность значений параметров, при которой целевая функция принимает свое максимальное или минимальное значение.

Методы математического программирования представляют собой чрезвычайно мощный теоретический аппарат. Начало их применения относится к 20-м годам нашего века. В книге академика А. Крылова «Мои воспоминания» описывается яркий эпизод, как, используя методы вариационного исчисления (вариационное исчисление можно считать предшественником современных методов математического программирования), ему удалось чуть ли не на двадцать процентов увеличить грузоподъемность судна, которое строилось для нашей страны одной иностранной фирмой.

Большую роль сыграли методы математического программирования во второй мировой войне, когда в процессе битвы в Атлантическом океане с их помощью были рассчитаны оптимальные составы морских караванов. Автор методов линейного программирования академик Л. Конторович за их разработку получил Нобелевскую премию.

Но здесь мы снова сталкиваемся с той же ситуацией. Колдовские силы не обязаны знать, что мы хотим получить на самом деле и какой ценой. При использовании математических методов в отраслевых АСУ прежде всего не было полной ясности в том, что, собственно, надо выбирать в качестве целевой функции. Нужно ли добиваться максимума общего объема производства или максимума прибыли или, наоборот, минимума затрат. Но даже не это главное. Главное в том, что оптимальные значения параметров, которые ЭВМ добросовестно вычисляла и выдавала в качестве пресловутых рекомендаций, спускались промышленным предприятиям в виде плановых заданий, и опять-таки никому из авторов АСУ не приходило в голову, выполнимы ли эти плановые задания.

Результат не замедлил сказаться. Ни одна из отрас-

левых АСУ не принесла ничего, кроме убытков. Оговоримся еще раз, чтобы быть правильно понятыми, мы имеем в виду не вообще использование ЭВМ в управлении производством, а совершенно конкретные автоматизированные системы управления, которые предполагалось использовать для автоматизации процессов административного управления.

Интересно отметить и другое. Нам известен по меньшей мере один случай, когда применение ЭВМ вкупе с методами математического программирования принесло реальный и достаточно большой экономический эффект. Произошло это тогда, когда с помощью ЭВМ была проанализирована работа такси. Рекомендация, выданная ЭВМ, состояла в том, чтобы взимать дополнительную плату с пассажира за каждую посадку. Рекомендацию приняли, и экономический эффект от ее внедрения составил несколько миллионов рублей. Но нельзя умолчать, что практика взимания платы за посадку существовала ранее во многих странах и для ее внедрения там не понадобилось никаких ЭВМ.

В пору расцвета АСУ чаще всего повторялось слово «кибернетика». Именно тогда в составе многих республиканских академий создавались институты технической кибернетики. Создавались, как правило, на базе вычислительных центров, и изменение названия никак не сказывалось на существе выполняемых работ. Довольно часто ставился знак равенства между словами «научный» и «кибернетический» метод управления. И при этом опять-таки никому не приходило в голову, что методы, использовавшиеся в отраслевых АСУ, в основе своей не являются кибернетическими.

Попробуем обосновать это утверждение. Мы нарочно привели столь подробное описание отраслевой АСУ, чтобы сделать ясным основной принцип ее функционирования. А принцип этот в двух словах сводится к следующему. Определить с помощью математических методов (которые сами по себе могут быть весьма эффективными) некоторые контрольные цифры, спустить эти цифры в виде плановых заданий и потребовать выполнения этих заданий. Подобный метод можно определить как метод жесткого управления.

Чему учит нас кибернетика, или, точнее, теория автоматического управления? Мы не раз говорили, что

с появлением слова «кибернетика» практически ничего не изменилось. Методы автоматического управления продолжали разрабатываться и совершенствоваться в том же русле, что и в докибернетический период.

Прообразом любой системы автоматического управления до сих пор можно считать знаменитый регулятор Джеймса Уатта, предложенный им в 1769 году. Регулятор Уатта служит для регулирования скорости вращения паровой машины. Для того чтобы изменить скорость, надо изменить количество пара, поступающего в цилиндры. Следуя методам жесткого управления (как в АСУ), для этой цели надо было бы менять температуру воды в котле или вообще подключать к цилиндрам другой котел. Но Д. Уатт решил эту задачу иначе. Для регулирования количества пара он изменял положение заслонки в паропроводящей трубе. Изменялось не само количество пара, а условия его протекания. Именно изменение условий и является сущностью любых методов автоматического управления или, если угодно, кибернетических методов.

Применительно к отраслям промышленности условия протекания производственных процессов имеют экономическую природу. Экономические (а не административные) методы управления, то есть хозрасчет, самофинансирование, а еще точнее, разумное сочетание экономических и административных методов можно считать кибернетическими или, попросту говоря, научными. Неудачи отраслевых АСУ объясняются тем, что их создатели на первых порах полностью игнорировали экономические методы.

БАЗА И СТРУКТУРЫ

Можно ли из всего сказанного сделать вывод, что средства, затраченные на создание отраслевых АСУ, а это миллиарды рублей, были выброшены на ветер? Такое мнение было бы неверным. Неверным потому, что для того чтобы управлять, нужна информация. И если сначала эта информация использовалась неправильно или не использовалась вообще, то сам факт наличия информации создает предпосылки для примене-

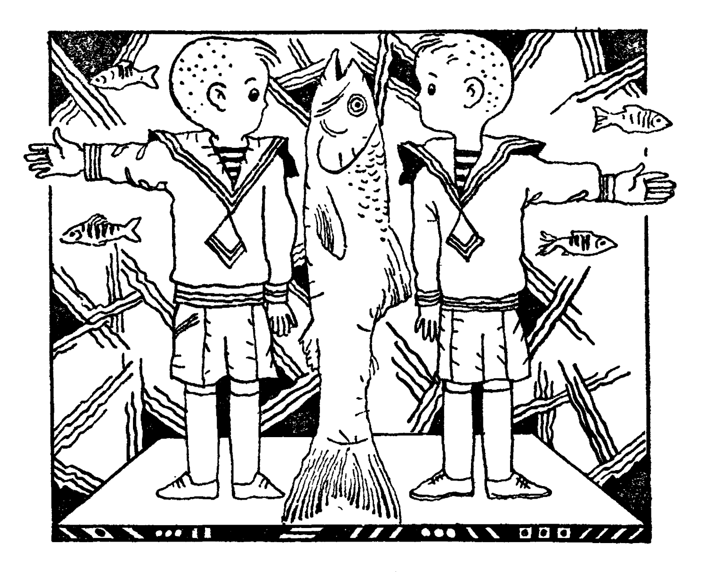
ния правильных, эффективных экономических методов управления.

При создании АСУ впервые была поставлена задача создания информационных комплексов, то есть комплексов, представляющих собой единство технических средств получения, передачи и обработки информации. В попытках создания отраслевых АСУ были заложены основы современной информационной индустрии. Программы разработки и внедрения АСУ оказали существенное влияние на становление и развитие в стране промышленности средств вычислительной техники.

Средства информационной индустрии в промышленности в основном созданы и могут быть использованы сегодня для реализации прогрессивных методов управления и координации. Но существенно и другое. Опыт (хотя и неудачный) эксплуатации АСУ прояснил много вопросов. В частности, стало понятно, что информация обладает структурой. Прояснилась также роль, которую играет структура при построении информационных систем.

Попробуем пояснить сказанное на примере тех же АСУ. Пусть имеется некоторая отрасль промышленности, содержащая в своем составе, скажем, сто промышленных предприятий. Первая и главнейшая задача АСУ состояла в том, чтобы накопить в памяти центральной АСУ самые разнообразные сведения, связанные с деятельностью этих предприятий. Все сведения, взятые вместе, представляют собой массив, состоящий из отдельных единиц — их называют также записями. Общее количество записей в массиве измеряется миллионами, а подчас и миллиардами. Записи, в свою очередь, имеют самую различную природу. Это сведения о выполнении плановых заданий, сведения о наличном оборудовании и степени его использования, сведения о состоянии складских запасов, сведения о кадрах и многое другое.

Смысл образования всего массива состоит в том, чтобы получать с его помощью разные справки. Эти справки опять-таки имеют различную природу. В какой-то момент, например, надо узнать, каким запасом болтов диаметром десять миллиметров располагает вся отрасль в целом. А в следующий момент и для других целей — сколько болтов любых типоразмеров хранится на одном конкретном складе. Для получения ответа



на первую справку нужно перебрать весь массив и отобрать из него сведения, касающиеся конкретного типоразмера, но зато по всей отрасли, в другом случае — сведения, касающиеся одного склада, но зато по всем типоразмерам.

То, что мы назвали структурой информации или, как часто говорят, структурой данных, состоит в том, что отдельные записи определенным образом тяготеют друг к другу, причем эти связи меняются в зависимости от вида запроса. С задачами подобного типа столкнулись уже на самом раннем этапе использования ЭВМ. Вначале единственным методом их решения представлялся метод сортировки данных. Все данные, составляющие массив, в ответ на каждый запрос перебирались по одному и разделялись по определенному признаку (скажем, болты и не болты).

Конец 50-х и начало 60-х годов ознаменовались появлением огромного количества научных работ, связанных с созданием различных методов сортировки. Посвящались этим вопросам и многочисленные международные конференции. Однако количество данных в массивах непрерывно возрастало, и скоро стало ясно, что, даже несмотря на непрерывно растущую про-

изводительность ЭВМ, перебор всех данных, составляющих массивов, в ответ на каждый запрос оказывается нереальным. Путь к решению проблемы лежал в структурировании данных с самого начала, при образовании массивов.

Таким образом возникло понятие базы данных, или, как часто говорят, банка данных. База данных — это все тот же массив, в котором, однако, отдельные записи не просто свалены в кучу, а как-то упорядочены. С этой целью каждая запись оформляется определенным образом. Она снабжается заголовком, содержащим некий набор сведений о записи, а также примечаниями. Примечания и решают задачу упорядочения. Первые базы данных относились к индексно-последовательному типу. Говоря упрощенно, индексно-последовательная структура базы данных состояла в том, что в примечаниях к каждой записи указывались заголовки нескольких записей, так или иначе связанных с этой записью. Записи выстраивались в своеобразные цепочки, или последовательности, — отсюда и название.

Дальнейшее развитие привело к появлению реляционных баз данных. Слово «реляционный» в переводе на русский язык означает «основанный на отношениях». Имеется в виду, что отдельные пары записей находятся в определенных отношениях друг к другу. Полный перечень подобных отношений и составляет структуру базы данных.

База данных чрезвычайно сложная конструкция. Отношения между записями оформляются в специальные таблицы, которые, в свою очередь, обладают структурой. Таблицы эти обрабатываются по специальным программам. Программы образуют множество, которое само по себе требует упорядочения и управления. Этим занимается опять-таки программа. Все перечисленное составляет систему поддержки базы данных. Только ЭВМ, обладающие современными производительностью и объемом памяти, сделали возможным создание баз данных, отвечающих элементарным требованиям. Но зато после накопления даже небольшого опыта работы с базами данных стало ясно, что структурой обладают не только записи, имеющие отношение к АСУ, но и вообще любая информация.

Более того, после достижения определенного уровня

сложности структурированные данные приобретают способность к самоорганизации.

Новорожденный ребенок активно познает внешний мир. Он двигает ручками и ножками. Каждый раз, когда рука ребенка наталкивается на препятствие, в его мозгу появляется «запись». Постепенно такие записи накапливаются. Еще через некоторое время между всеми записями подобного типа устанавливаются отношения — «твердо». С этого и начинается процесс структурирования информации. Проходит еще некоторое время, и возникает следующий, более высокий иерархический уровень. На этом уровне устанавливаются отношения между понятиями «твердо» и «больно».

Первые попытки создания баз данных относятся к середине 70-х годов. Сейчас можно сказать, что до этого времени ЭВМ находились в эмбриональном состоянии, а с момента появления баз данных они перешли в состояние младенчества. В этом состоянии ЭВМ пребывают до сих пор, однако легко заметить, что младенец уже подает определенные надежды.

Существенный этап на пути развития информатики, если не считать самого факта появления баз данных, состоял в том, что наконец заметили: отношения между записями совсем необязательно должны быть формально-математическими. Наряду с понятием базы данных появилось понятие базы знаний, а также понятие логико-лингвистической модели. Академик Г. Поспелов пишет по этому поводу:

«Революция в информатике, приведшая к становлению новой технологии использования ЭВМ и индустрии интеллектуальных систем, стала возможной благодаря тому, что в теории искусственного интеллекта были разработаны логико-лингвистические модели.

В отличие от математических логико-лингвистические модели носят семантический характер. Они отражают конкретность данной ситуации, данного объекта управления, знания руководителей, плановиков, проектировщиков, разработчиков, исследователей. Конкретность обычно выражается в описательной (вербальной) форме и, разумеется, не поддается представлению в виде универсальных математических моделей. В науках и сферах деятельности, трудно формализуемых или совсем не формализуемых с помощью математических моделей, логи-

ко-лингвистические модели выполняют их роль. Применение ЭВМ в этом случае предполагает наличие триады: логико-лингвистическая модель — алгоритм — программа. Отметим, что именно логико-лингвистические модели привели к появлению баз знаний...

Поскольку все интеллектуальные системы ориентированы на знания, а при использовании ЭВМ мы обычно употребляем понятие «данные», очевидно, требуется обозначить различия между ними. Это не так легко сделать, ибо данные тоже несут в себе определенные знания. Они организуются в специальные базы (банки) и могут отражать числовые параметры обрабатываемых программами математических моделей или, например, текущее состояние реализации планов предприятиями какой-либо отрасли промышленности. После обработки этих данных можно дать обобщающие характеристики выполнения плана отраслью, выявить узкие места, составить прогноз на будущее и т. п. Одним словом, получить новые знания. Следует подчеркнуть, что данные всегда пассивны: активны только обрабатывающие их программы. В противоположность пассивности данных знания у человека активны. Недостаток знаний вызывает стремление их пополнить. Противоречие в знаниях и устранение его могут привести к новым знаниям. Отдельные фрагменты знаний обладают связностью, их можно интерпретировать. Логико-лингвистические модели в той или иной степени отображают эти особенности знаний».

Рассмотрим такой пример. Имеются два массива записей, из которых один содержит полное множество симптомов, так или иначе характеризующих состояние человеческого организма. Сюда относятся данные измерения температуры тела, частота пульса и дыхания, окраска кожи, биохимический состав крови и выделений, данные рентгеноскопических обследований, кардиографии, энцефалографии и тому подобное, всего не перечислишь. Другой массив записей содержит названия всех известных медицине заболеваний. Оба массива структурированы внутри. Это значит, что между отдельными записями устанавливаются отношения. Например, между данными измерения температуры устанавливаются отношения «до» и «после», в результате чего образуется конструкция (такие конструкции называют

семантическими сетями), носящая название «суточное изменение температуры». Устанавливаются также отношения между данными измерения температуры и окраской кожных покровов, данными биохимических анализов и рентгеноскопических исследований. В конечном итоге образуются структуры, известные в медицине как симптомокомплексы, или синдромы. Наконец, на самом высшем уровне устанавливаются отношения между симптомокомплексами и названиями болезней. Результатом является ЭВМ, способная поставить медицинский диагноз.

Теперь самое главное. Вопреки чаще всего высказываемому мнению такую ЭВМ совсем необязательно программировать на установление диагноза. Все, что требуется, это снабдить ее способностью структурировать данные, то есть устанавливать отношения между записями на основании информации, поступающей из внешнего мира. Такая ЭВМ может стажироваться в клинике, постоянно получая ту же исходную информацию, которую получают врачи, и сообщения об установленных диагнозах. Постепенно в ней будет формироваться база знаний.

Еще одна чрезвычайно важная подробность. На определенных этапах обучения ЭВМ наверняка будет ставить в соответствие одному и тому же сформированному ею симптомокомплексу несколько различных заболеваний. Подобное явление будет восприниматься ею как ошибка, и в ответ на это она будет требовать дополнительных знаний. Это и есть проявление того, что мы назвали способностью к самоорганизации.

Другим примером такого же рода могут служить демонстрировавшиеся в телевизионных передачах пейзажи поверхности планеты Венера, вид ядра кометы Галлея и, наконец, в самое последнее время пейзаж поверхности одного из спутников Юпитера. Эти изображения строились ЭВМ на основе множества фотографий, сделанных аппаратурой советских и американских межпланетных станций и переданных на Землю. Если бы нам показали любую из этих фотографий, мы бы не нашли в ней ничего общего с полученными пейзажами. Но затем шел весьма кропотливый процесс. Фотографии разбивались на мелкие фрагменты, каждый из которых использовался в качестве отдельной записи базы зна-

ний. Записи структурировались, и выявлялись существующие между ними отношения. Конечным результатом этого процесса во всех случаях оказывался цветной пейзаж, который, кроме всего прочего, производил огромное впечатление даже своими чисто эстетическими достоинствами.

СНАЧАЛА БЫЛО СЛОВО

Так постепенно вырисовываются перед нами основные черты нового, пятого, поколения ЭВМ. Главное для пятого поколения — это наличие базы знаний и интеллектуальных терминалов, обеспечивающих общение ЭВМ с человеком на естественном языке. Свое задание ЭВМ получает в процессе диалога с пользователем, причем инициатива в этом диалоге принадлежит ЭВМ. Организация обработки информации сводится к следующему.

Прежде всего определяется круг понятий, отвечающих некоторой определенной предметной области. В качестве такой области можно выбрать все, что угодно, начиная от решения кроссвордов и кончая теоретической физикой. Важно, чтобы область была четко очерчена, а отобранные понятия по возможности не допускали двусмысленности. На основе отобранных понятий формируется язык — первая ступень машинного интеллекта.

Здесь имеет смысл сделать оговорку. Часто слова о том, что исходные понятия не должны допускать двусмысленности, понимают чересчур буквально и при этом делают вывод, что ЭВМ способна оперировать лишь с достаточно примитивными категориями. Это не так. Там, где нужно, допускается необходимая гибкость. В частности, в последние годы большое значение придается теории расплывчатых множеств. В основу этой теории положена концепция объектов, до определенной степени относящихся к тому или другому классу. Поэтому если и говорить о четкости определений, то не из-за возможностей ЭВМ, а в связи со стремлением к достижению максимальной эффективности.

Все сказанное справедливо применительно к грамматике создаваемого языка. В принципе это доказано

многими примерами, ЭВМ способна общаться с пользователем на обычном, как говорят, естественном языке со всеми его особенностями, включая омонимию, синтаксические нестрогости, множество исключений из правил и т. п. Если к синтаксису машинных языков мы предъявляем гораздо более жесткие требования, то это диктуется соображениями надежности и эффективности. А тот факт, что машина способна работать в условиях существенной синтаксической недоопределенности, доказывается успешными опытами по дефировке с помощью ЭВМ текстов, написанных на неизвестных, в частности, мертвых языках.

Создав язык, мы переносим задачу в память ЭВМ и тем самым получаем возможность использовать достаточно богатый к настоящему времени арсенал средств искусственного интеллекта. Все средства делятся на две основные категории: обеспечивающие формулирование цели и обеспечивающие достижения этой цели. В том и в другом случае предоставляется широчайший спектр возможностей. Всевозможные цели переработки информации выбираются из некоторого множества, ограниченного, с одной стороны, простым расположением сообщений в заданном порядке, например, по алфавиту, а с другой — созданием произведения, отвечающего определенным эстетическим требованиям. Различие между этими двумя постановками носит скорее количественный, чем качественный характер. Что касается средств достижения цели, то здесь также существует много отработанных приемов. Как правило, все сводится к выбору одного приема или некоторой их последовательности.

Простейший из примеров — полный перебор. Легко представить себе схему, в соответствии с которой некое сообщение (пусть это будет шахматный ход) сначала конструируется, затем анализируется на соответствие одному или группе критериев, вытекающих из ранее поставленной цели, и наконец либо отбрасывается, либо остается в списке сообщений — кандидатов на следующий тур анализа. Главное в том, чтобы не пропустить ни один из возможных вариантов сообщений.

Полный перебор, единственный среди всех методов, дает гарантию выбора наилучшего во всех отношениях варианта. Однако, как правило, реализация полного пе-

ребора нереальна из-за недостатка времени и объема памяти. Поэтому обычно используются методы направленного перебора.

Основной механизм здесь тот же самый. Сообщения генерируются, анализируются и либо принимаются, либо отбрасываются. В то же время при направленном переборе на каждом из промежуточных этапов вырабатывается система оценок, и к следующему этапу переходят на основе этих оценок. Сами оценки могут иметь как детерминированный, так и вероятностный характер.

В качестве примера направленного перебора можно взять ту же шахматную стратегию. Считается, что потеря фигуры — это почти всегда плохо. Поэтому при планировании стратегии игры в шахматы методом направленного перебора сразу отсекаются все последовательности ходов, которые заканчиваются или могут закончиться потерей фигуры. Все это достаточно убедительно. Но подобные стратегии не позволяют использовать такой прием, как жертва фигуры, довольно часто с успехом применяемый шахматистами.

При формировании оценок широко используется классификация. Другими словами, обеспечивается возможность принять или отбросить сразу целый класс сообщений, однородных в смысле определенных критериев. Наконец, огромную роль при организации направленных переборов играет предыдущий опыт, результаты которого оформлены в виде массивов с иерархической структурой — баз данных.

Остается добавить, что процесс обучения ЭВМ мало отличается от процесса обучения человека. Каковы и в том и в другом случае основные этапы процесса?

Первый — формирование языка, в нашем случае это освоение терминологии и построение мысленных моделей.

Второй этап — формирование методологии исследований. И для ЭВМ и для человека она использует логику. Однако лишь в относительно простых случаях можно ограничиться формальной логикой. Большинство задач творческого характера требует привлечения диалектической логики. На диалектической логике основана, в частности, теория расплывчатых множеств.

Наконец, наиболее важен, пожалуй, третий этап — обучение на опыте. Здесь у ЭВМ те несомненные пре-

имущества, что они ничего никогда не забывают. Любая информация, зафиксированная в их памяти, остается в ней, если только не поступает специальной команды на уничтожение, и учитывается всякий раз, когда возникает необходимость принимать решение. Кроме того, объем памяти ЭВМ практически не ограничен.

ЭВМ У НАС ДОМА

Еще одна характерная особенность сегодняшнего состояния информатики — ЭВМ проникают в домашний быт. Вопрос о том, приобретать или не приобретать домашнюю ЭВМ, не успев возникнуть, практически потерял свое значение. ЭВМ, если это уже не случилось, обязательно проникнет в ваш быт. Либо в корпусе ручных часов, либо как добавление к стиральной машине. Если сегодня обычными стали электронные часы, встроенные в корпус шариковой ручки, то завтра у вас на столе окажется ручка со встроенной ЭВМ, причем эта ЭВМ позволит не просто выполнять арифметические действия, а, скажем, исправлять ошибки в тексте, написанном этой ручкой. Так что вопрос не в том, приобретать или нет домашнюю ЭВМ, вопрос в том, готовы ли мы к ее появлению.

Прежде всего язык. Каждая информационная система, базирующая на ЭВМ, содержит в своем составе язык или несколько языков. Развитие машинных языков подчинялось все тем же двум противоречивым стремлениям к универсализации и специализации. Было время, когда побеждала, по всей видимости, последняя. Количество различных языков, разработанных для ЭВМ, перевалило за тысячу. Однако жизнь тут внесла свои коррективы. Подавляющее большинство из них так и осталось неиспользованным.

На сегодня в обращении находится относительно небольшое количество как универсальных, так и специализированных языков. Причем существование и тех и других, как правило, находит веские оправдания. Например, язык кремниевых компиляторов, естественно, должен быть специализирован. То же самое относится к группе информационно-поисковых языков. Прошедший за истекшее десятилетие естественный отбор выделил

небольшую группу универсальных языков, позволяющих описать любые последовательности операций, в пределах информационных систем.

Часто высказывается мнение, что в недалеком будущем на смену машинным языкам придут языки естественные. Возможность обмена информацией на одном или нескольких естественных (русском, английском, французском и других) языках принимается, в частности, как одна из характерных черт ЭВМ пятого поколения.

Действительно, реальная возможность создать информационную систему, способную обмениваться информацией на естественном языке, существует уже сегодня. Более того, ведутся упешные опыты по организации диалога между человеком и ЭВМ обычной речью. Есть системы, принимающие и передающие информацию голосом по обычным телефонным каналам.

Вопрос не так прост, как кажется, и рассматривать его следует как частный случай другого, глобального вопроса. Его можно сформулировать так: правильно ли рассматривать ЭВМ сегодня и в обозримом будущем лишь как слугу, слепо выполняющего приказы, хоть и сложные, или основным направлением развития следует считать использование возможностей взаимного дополнения человеческой культуры и некоторой квазикультуры, которую породила техносфера, в виде информационных систем, базирующихся на многих ЭВМ?

Применительно к языкам все это выглядит следующим образом. Любой естественный язык располагает неисчерпаемым богатством изобразительных средств. Это, несомненно, справедливо. Как справедливо и то, что лучше всех должны владеть естественными языками писатели. Но почему же тогда существует наука литературоведение, основная цель которой — растолковать, что, собственно, хотел сказать тот или иной писатель своими произведениями? Почему он сам, без посредников, не может передать свои мысли читателю?

На самом деле нет одной Наташи Ростовой, как нет одного Павки Корчагина. Их столько, сколько людей прочитали «Войну и мир» и «Как закалялась сталь».

Неопределенность и есть та цена, которую мы платим за богатство изобразительных средств естественных языков. В противоположность этому машинные языки предельно конкретны. Если они и допускают оттенки, оттенки строго регламентированные. Смысл любого высказывания на машинном языке совершенно однозначен и не требует дополнительных толкований.

Поставленный нами вопрос теперь звучит так: какую из двух возможностей выбрать — обучить ЭВМ естественным языкам и в дальнейшем общаться с ними только на естественных языках или дополнить человеческие лингвистические средства машинными языками, что в конечном итоге придаст естественным языкам (конечно, там, где это необходимо) большую конкретность и, если можно так выразиться, квантовость?

Скажем прямо, мы сторонники второго пути. Всеобщее овладение компьютерной грамотностью — это не печальная необходимость, вызванная недостатками ЭВМ, напротив, это блестящая возможность внести в человеческую культуру дополнительные грани, которые позволят не только обогатить изобразительные средства, но в определенном смысле усовершенствовать образ мышления. Недаром, к примеру, слово «алгоритм» прочно вошло в наш лексикон и часто используется в контекстах, не имеющих отношения к ЭВМ.

КАК ВАШЕ ИМЯ, КОМПЬЮТЕР?

До сравнительно недавнего времени каждая информационная система была связана с конкретным типом ЭВМ. Весьма примечательно, что типы ЭВМ порождали своеобразные человеческие коллективы. Так, до самого последнего времени у нас существовали сообщества пользователей ЭВМ типа «Урал», пользователей ЭВМ типа «Минск» и тому подобные.

По мере развития и совершенствования информационных систем происходил неизбежный процесс их обособления от соответствующих технических средств. Сегодняшняя информационная система существует независимо от каких-либо типов ЭВМ. Более того, она с равным успехом может быть сосредоточена в памяти одной большой или сверхбольшой ЭВМ, а может быть

распределена по множеству малых, в частности, персональных ЭВМ. Пожалуй, самым ярким выражением современного состояния информационных систем и средств их материальной поддержки могут служить локальные вычислительные сети.

Мы уже говорили, что локальная вычислительная сеть — это коллектив ЭВМ, сосредоточенных в относительно небольшом пространстве (отсюда и название «локальный»), соединенных друг с другом, а также, возможно, с бо́льшой ЭВМ. При этом неважно, сколько персональных ЭВМ находится в распоряжении одного пользователя. Как первоначальная стоимость, так и эксплуатационные затраты, относящиеся к одной персональной ЭВМ, в ближайшем времени станут аналогичными затратам, скажем, на телефонный аппарат и в дальнейшем будут неуклонно снижаться. При проектировании локальной вычислительной сети основной вопрос сводится не к распределению персональных ЭВМ между пользователями, а к распределению информационной базы между персональными ЭВМ. Например, нужно ли иметь в каждой ЭВМ трансляторы с соответствующих языков или сосредоточить все трансляторы в одном месте и вызывать по мере необходимости?

Вопрос этот не прост. При его решении приходится учитывать множество различных соображений, в том числе и соображение сохранности информационной базы, надежности функционирования и проблему несанкционированного доступа. Для нас важнее другое.

В современных условиях технические средства, то есть сами ЭВМ, играют роль посредников между информационной системой и человеком. При этом необходимо дать себе ясный отчет в том, что отдельные информационные системы объединяются, а по сути дела уже объединились в единую систему, которая имеет все основания претендовать на название квазикультуры. Нужно ли отводить ей некую вспомогательно-подчиненную роль, например, справочной службы телефонной сети или следует рассматривать ее как дополняющий, но самостоятельный элемент человеческой культуры в целом?

Этот вопрос лежит в основе проблемы «информатика и человек». Все соображения, рассмотренные в этой

книге, ориентируют читателя на второе из двух решений. То, что можно назвать мышлением ЭВМ, весьма своеобразно и уж во всяком случае в отдельных своих аспектах не является простым отражением мышления человеческого. Это обстоятельство проявляется особенно ярко в связи с совершенствованием квантовой картины мира. Поэтому именно на пути взаимного дополнения информационных систем и их гармонического развития следует ожидать особо весомых вкладов в человеческую культуру в целом.

В этой связи можно рассмотреть одно интересное предположение. В последние годы достигнут огромный прогресс в биотехнологии. Основывается биотехнология на открытой недавно возможности конструировать искусственные генные структуры. Естественный генный аппарат представляет собой типичную информационную систему со всеми ее составными частями: языком, базой данных (набор хромосом) и операционным аппаратом, в роли которого выступают ферменты. Но мы не ставим себе целью обсуждать возможности биотехнологии. Нас интересуют два утверждения, часто повторяемые в последнее время специалистами-биотехнологами.

Первое — в недалеком будущем (называют даже цифру — к 2000 году) технические средства ЭВМ будут создаваться методами биотехнологии. С этим утверждением мы в принципе готовы согласиться, хотя и относимся с большим недоверием к попыткам прогнозировать там, где основные тенденции еще до конца не проявились. В конце концов, кремниевый компилятор содержит в себе многие черты генного аппарата.

Второе утверждение сводится к тому, что опять же в недалеком будущем появится и будет практиковаться имплантация ЭВМ, создаваемых методами биотехнологии, в человеческий организм. Технически здесь нет ничего невозможного, и это подтверждается, в частности, успехами, достигнутыми в последние годы в области микрохирургии нервных тканей. Однако с принципиальных позиций хочется воспользоваться случаем и повторить еще раз, что всякий путь, основанный на поглощении одной культуры другой или на создании синтетических макрокультур, представляется менее перспективным, чем путь, основанный на дополнении одного другим.

Все только что сказанное требует иллюстраций. В качестве простейшего примера рассмотрим уже состоявшееся сегодня содружество человека и ЭВМ при создании мультипликационных фильмов. Создавать их обычными способами весьма трудоемкий процесс, поскольку для реализации эффекта движения каждую фигуру приходится рисовать тысячи раз в разных позах. Эту-то работу берет на себя ЭВМ. Художнику-мультипликатору достаточно дать ключевые рисунки, отражающие внешний облик героя и характер его поведения.

Но можно пойти дальше. Во всяком рисунке лишь несколько характерных черт отражают индивидуальность. Все остальное служит своеобразным фоном, на котором выступают эти черты. Похожий портрет человека можно дать всего несколькими штрихами, чем широко пользуются карикатуристы и криминалисты при составлении так называемых фотороботов. Можно представить себе совместную работу человека и ЭВМ над мультфильмом, в процессе которой человек изображает только характерные черты. Остальное достраивает ЭВМ.

Но и это еще не все. ЭВМ сама способна создать образ и предложить его на суд человека. При этом широко используются свойства организации баз данных. В базе данных хранится множество заготовок, разделенных на классы, снабженные родовыми именами. Задание для ЭВМ формулируется, скажем, в таком виде: тощая грустная угловатая фигура. ЭВМ представляет заказчику несколько вариантов, в которые можно вносить поправки. Варианты, по какой-то причине в данном случае не устраивающие, но понравившиеся, отправляются в память. Там они либо хранятся до поры до времени, либо используются как заготовки для создания новых вариантов. Что касается системы оценок, то опять-таки здесь можно не ограничиваться оценкой одного человека — партнера ЭВМ, а, например, заносить в базу знаний рецензии на ранее созданные фильмы.

Все это не фантазия. В Париже в недавно построенном кинотеатре «Жеод» с полусферическим экраном площадью тысяча квадратных метров демонстрируется

пятнадцатиминутный фильм «Волшебное яйцо», сценаристом, режиссером, художником, оператором и композитором которого является ЭВМ. О фильме шло много споров, но ясно одно (и это мы можем подтвердить на собственном опыте) — он не оставляет зрителей равнодушными.

В конечном итоге мы можем увидеть ЭВМ в роли ученика великого художника, воспринимающей замысел метра и создающей произведения, в которые человек вносит лишь несколько завершающих мазков. Заверяем читателя, что, говоря все это, мы не забыли известную истину: именно завершающие мазки и делают произведение искусства гениальным.

В таком содружестве весьма эффективными должны оказаться отношения партнерства. Например, для ЭВМ не составляет никакого труда безукоризненно следовать законам перспективы, устанавливать равновесие, выбирать соотношения планов. То же самое свойственно архитектуре, когда по отдельным наброскам восстанавливается трехмерное изображение здания.

Огромные возможности таятся в системах автоматизированного проектирования (САПР). Человек — партнер САПР выступает в роли руководителя конструкторского бюро, который предлагает основной замысел конструкции. В задачи ЭВМ входит не только удовлетворение неким эстетическим требованиям, но и выполнение строгих математических расчетов, позволяющих оценить соответствие проектируемой конструкции техническим требованиям.

Отношения партнерства человека и ЭВМ особенно ярко проявляются в игровых ситуациях. Сегодня существует огромное количество компьютерных игр, среди которых есть и примитивные, а есть и достаточно серьезные, развивающие способности. Особого упоминания заслуживают широко практикуемые в настоящее время деловые игры, где в качестве партнеров-учеников выступают руководители высокого ранга. Большие возможности таятся в использовании игровых ситуаций в процессе обучения в школах и вузах.

Такова в общих чертах новая отрасль науки, техники и производства, получившая название информатики. К ведению информатики относятся все системы, устройства и процессы, связанные со сбором, хранением,

переработкой и отображением информации. Конечно, далеко не все из них нашли место на страницах этих бесед. Так, например, ни разу не было произнесено слово «роботы», хотя робототехника справедливо считается одним из наиболее ярких достижений информатики.

Но о роботах нельзя упоминать вскользь. Они заслуживают отдельной книги. Точно так же в наших беседах мы почти ничего не сказали о микропроцессорах и многом другом. И все же мы надеемся, что тот, кто дочитал наши беседы до конца, получил достаточно полное представление о том, то такое информатика, о главных стоящих перед ней проблемах и перспективах на будущее.

Для современного состояния информатики характерно объединение отдельных процессов переработки информации в мощную информационную индустрию, развивающуюся в национальных, а в отдельных случаях и в глобальных масштабах. Столь бурное развитие информатики стало возможным благодаря поистине фантастическим успехам интегральной электроники и, конечно, благодаря проведенным в последние годы фундаментальным исследованиям в области теории информации.

СОДЕРЖАНИЕ

Шилейко А. В., Шилейко Т. И.

Ш 57 Беседы об информатике. — М. : Мол. гвардия, 1989. — 287[1] с., ил. — (Эврика).

ISBN 5-235-00496-5

Занимательный рассказ о широких шагах науки — информатики, сложившихся представлениях об информационных процессах в искусственных и живых системах, о системах, способных поставить диагноз и предложить лечение, подсказать ученому путь решения его задачи и т. д., о мощной современной информационной индустрии, а также о людях, посвятивших свою жизнь всем этим проблемам. Издание рассчитано на самые широкие круги читателей.

Ш $\frac{1404000000—019}{078(02)—89}$ 254—89 **ББК 73**

ИБ № 5887

Шилейко Алексей Вольдемарович, Шилейко Тамара Ивановна

БЕСЕДЫ ОБ ИНФОРМАТИКЕ

Заведующий редакцией **В. Щербаков**
Редактор **В. Федченко**
Художник **М. Светланов**
Художественный редактор **В. Тихомиров**
Технический редактор **Е. Брауде**
Корректоры **Г. Василёва, Г. Замилова, И. Ларина**

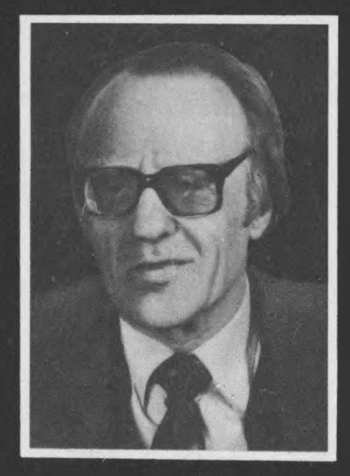
Сдано в набор 18.05.88. Подписано в печать 27.10.88. А01190. Формат 84×108 1/32. Бумага типографская № 2. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 15,12. Усл. кр.-отт. 15,54. Учетно-изд. л. 14,9. Тираж 100 000 экз. Цена 90 коп. Заказ 1423.

Типография ордена Трудового Красного Знамени издательско-полиграфического объединения ЦК ВЛКСМ «Молодая гвардия». Адрес ИПО: 103030, Москва, Сущевская, 21.

ISBN 5-235-00496-5

Эврика





ТАМАРА ИВАНОВНА ШИЛЕЙКО

АЛЕКСЕЙ ВОЛЬДЕМАРОВИЧ ШИЛЕЙКО

Начав трудовой путь с ученика на заводе, заведующий кафедрой Московского института инженеров железнодорожного транспорта А. Шилейко стал профессором, доктором технических наук. Им написано несколько монографий, научно-популярных брошюр и совместно с Т. Шилейко выпущены книги «Кибернетика без математики», «Потомки каменного топора» и «Информация и интуиция» (в серии «Эврика»).

Член Союза журналистов, Т. Шилейко сотрудничала с издательством АПН, где готовила материалы, освещающие для зарубежных читателей достижения советской науки и техники. Она окончила Московское высшее техническое училище имени Н. Баумана и несколько лет работала инженером.

«Беседы об информатике» — вторая книга в серии «Эврика» этих авторов.

90 коп.

Молодая гвардия